



PROYECTO 1.731

Petrolero para crudo de 150.000 TPM



*Tutor: D. Francisco Alonso Thous
Realizado por: José Antonio Durango Ramón*

PROYECTO 1.731
PETROLERO PARA CRUDO 150.000 TPM

CUADERNO 0

MEMORIA



Tutor: D. Francisco Alonso Thous

Realizado por: José Antonio Durango Ramón



CONTENIDOS

1	INTRODUCCIÓN	2
2	NOMENCLATURA	3
3	ESPECIFICACIÓN DE PROYECTO.....	4
4	ANÁLISIS DEL TIPO DE BUQUE Y REQUERIMIENTOS PRINCIPALES.....	5
5	CUADERNOS DE PROYECTO	16
5.1	Dimensionamiento	16
5.2	Formas.....	18
5.3	Disposición general	21
5.4	Cálculos de arquitectura naval	25
5.5	Predicción de potencia. Diseño del propulsor y timón	26
5.6	Cuaderna maestra	30
5.7	Cámara de máquinas	33
5.8	Pesos y centro de gravedad del buque en rosca	42
5.9	Situaciones de carga y condiciones de averías.....	43
5.10	Equipo y servicios.....	45
5.11	Planta eléctrica	46
5.12	Presupuesto.....	48
6	CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO.....	50
7	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	51



1 INTRODUCCIÓN

El presente documento sirve como resumen de todos los trabajos llevados a cabo para la definición del proyecto asignado.

En primer lugar se presenta la especificación de proyecto que sirve de punto de partida para fijar las condiciones y analizar el tipo de buque que se pretende proyectar.

Los trabajos efectuados se han dividido en 12 cuadernos tal como marcan las normas de ejecución de los proyectos fin de carrera de la E.T.S.I.N.

En el punto 4 se hace un análisis sobre el tipo de buque a diseñar, explicando brevemente sus principales características de operación, reglamentación a cumplir, clasificación, mercado, etc.

En el punto 5 del presente documento se incluye un resumen del contenido y resultados obtenidos en cada uno de los cuadernos. En el punto 6 se expone una tabla de las principales características del buque como consecuencia de todo el proceso de diseño que se ha llevado a cabo.

Finalmente se exponen las referencias bibliográficas de las que se ha hecho uso a lo largo de todo el proyecto.



2 NOMENCLATURA

Variable	Descripción (unidades)
L	Eslora entre perpendiculares (m)
L_T	Eslora total (m)
L_F	Eslora de la flotación (m)
B	Manga de trazado (m)
D	Puntal de trazado (m)
T	Calado de proyecto (m)
Cb	Coeficiente de bloque
Cm	Coeficiente de la maestra
Cp	Coeficiente prismático longitudinal
Cwp	Coeficiente de la flotación
Xb	Posición longitudinal del centro de carena
X'b	Abscisa del centro de carena (m)
X'F	Abscisa del c.d.g. de la flotación (m)
α	Semiángulo de entrada en la flotación (°)
V_C	Volumen de carena (m ³)
A_M	Área de la cuaderna maestra (m ²)
Δ	Desplazamiento (t)
Lp	Longitud del cuerpo cilíndrico (m)



3 ESPECIFICACIÓN DE PROYECTO

La especificación entregada para la definición del proyecto se muestra a continuación:

TIPO DE BUQUE	Petrolero para crudo, cubierta corrida, habitación y cámara de máquinas a popa, proa y popa de bulbo, codaste abierto, timón tipo "Mariner", cofferdam entre tanques de combustible y mar. Posibilidad de operar atravesando el futuro canal de Panamá, en el mercado del Pacífico y/o Atlántico
CLASIFICACIÓN Y COTA	LR ✕ 100 A1, D Hull Oil Tanker, CSR, IWS, LI, LMC, SCM, UMS
PESO MUERTO	150.000 TPM
PROPULSIÓN	Motor 2T lento directamente acoplado a hélice de paso fijo
VELOCIDAD	Velocidad a plena carga con motor al 90% y 15% margen de mar 15,2 nudos
CAPACIDADES	Capacidad de carga 170.000 m ³ en 12 tanques + 2 de derrames. Tanques de carga pintados (CSR y TOTAL) Capacidad de combustible 3.900 m ³
HABILITACIÓN	32 Cabinas individuales con baño privado 2 Cabinas dobles de reserva con baño privado y rancho para 6 personas
SISTEMA DE CARGA	3 Tubo-bombas 3.500 m ³ /h a 140 mca 2 Eyectores de 700 m ³ /h 1 Bomba de agotamiento a 140 mca 2 Electrobombas de 1.750 m ³ /h a 35 mca y un eyector de 400 m ³ /h a 35 mca para el sistema de lastre
MAQUINARIA AUXILIAR	3 Diesel generadores, 2 calderas principales, caldereta mixta de gases de escape y mecheros
AMARRE	18 líneas sobre carretel partido. Bitas alije (OCIMF, EXXON). Grúa mangueras (OCIMF, EXXON).



4 ANÁLISIS DEL TIPO DE BUQUE Y REQUERIMIENTOS PRINCIPALES

Tipo de buque

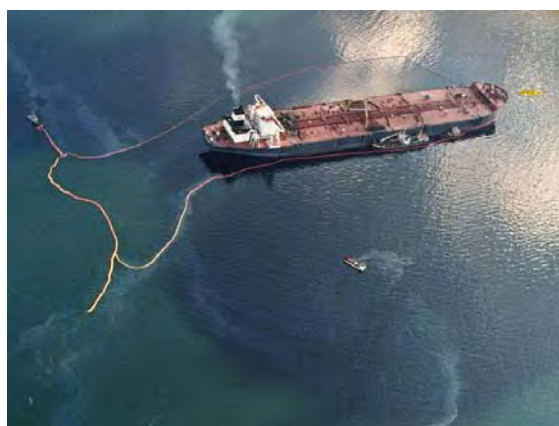
Este tipo de buque se usa para transportar petróleo crudo desde la terminal marítima del yacimiento hasta la refinería o, por razones logísticas, hasta la cabecera de un oleoducto. También pueden transportar derivados pesados como el Fuel Oil gracias a la posibilidad de calefactar la carga.

La tecnología aplicada a la construcción de estos buques ha ido evolucionando año tras año. De hecho, adelantos tales como el lavado con crudo, el uso de sistemas de gas inerte con el objeto de evitar incendios y explosiones, las construcciones de doble casco, el avance de las comunicaciones, la automatización de los equipos y los sistemas de navegación, así como las estrictas exigencias para operarlos, permiten inferir que los buques petroleros continuarán experimentando una gran evolución durante los próximos años.

Además del transporte por oleoducto, los petroleros son el único medio de transportar grandes cantidades de crudo, a pesar de que algunos han provocado considerables desastres ecológicos al hundirse cerca de la costa y provocando el vertido de su carga al mar. Los desastres más famosos han sido los causados por los petroleros: Torrey Canyon, Exxon Valdez, Amoco Cadiz, Erika y Prestige. Algunos de ellos son:



Torrey Canyon (1967)



Exxon Valdez (1989)



Amoco Cadiz (1978)



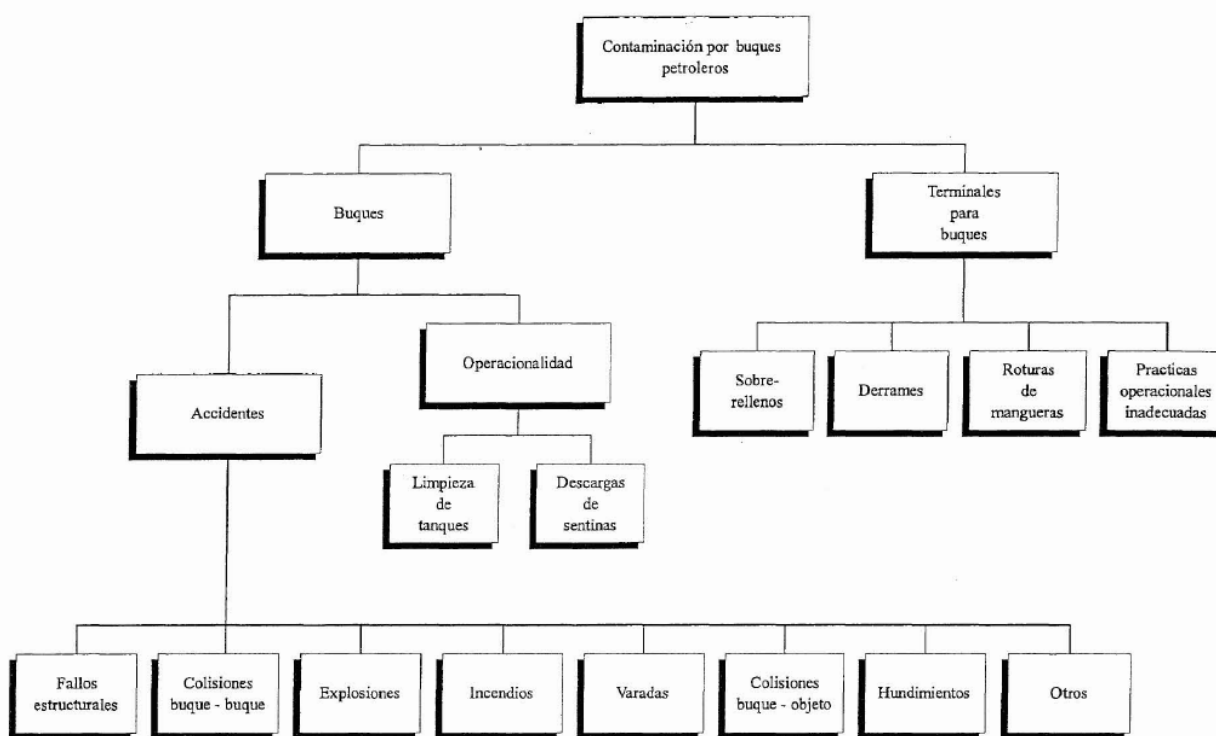
Prestige (2002)



La contaminación del medio ambiente marino provocada por la explotación de esta clase de buques ha constituido siempre una preocupación de la comunidad marítima internacional y que, progresivamente, se ha deslizado a la sociedad en su conjunto, debido principalmente a los casos de accidentes como los que se han comentado anteriormente.

Los trabajos emprendidos por IMO a este respecto comienzan en los años 50, en los que se promulgó el primer convenio Internacional para la prevención de la contaminación del agua de mar por hidrocarburos (1954), que entre otros factores, impuso la obligación de montar en buques, separadores de agua-aceite procedentes de las descargas de sentinas.

Los frentes de actuación fueron diversos, y tendentes a eliminar o reducir los efectos contaminantes provocados por las causas que se recogen en la siguiente figura:



En el capítulo operacional, la causa contaminante de mayor peso era la limpieza de los tanques de carga, y en el de accidentes, las colisiones, varadas, explosiones e incendios. En base a ello se fueron introduciendo enmiendas en SOLAS y en MARPOL.

Quizá la más significativa de todas estas medidas es el principio del doble casco, con el que se ha conseguido por un lado dotar al buque de una mayor seguridad ante accidentes y por otro la implantación de espacios de lastre separado que en ningún momento pueden albergar petróleo, evitando de esta manera, la contaminación del agua de lastre que posteriormente se vierte al mar. La siguiente imagen muestra la estructura típica de un petrolero de doble casco en la zona de la cántara:



Durante la década de los 70, época de grandes conflictos internacionales, los buques petroleros tuvieron que crecer, puesto que el Canal de Suez estaba cerrado al tráfico internacional y debían dar la vuelta por el cabo de Buena Esperanza, al sur del continente africano, para rentabilizar con una mayor cantidad de petróleo el rodeo que había que dar y que tanto encarecía el transporte. Un ejemplo de estos buques es el de la siguiente figura con pesos muertos superiores a las 320.000 TPM:





La estructura de la zona de carga de estos superpetroleros puede apreciarse en la siguiente imagen:



Que muestra el proceso de construcción de la mitad de la sección de un buque de estas características en un Astillero Coreano.

La reapertura del Canal de Suez produjo que muchos de esos “gigantes”, construidos en los años 70, no fuesen tan rentables y se empezaron nuevamente a construir petroleros más pequeños que pudieran operar utilizando el canal.

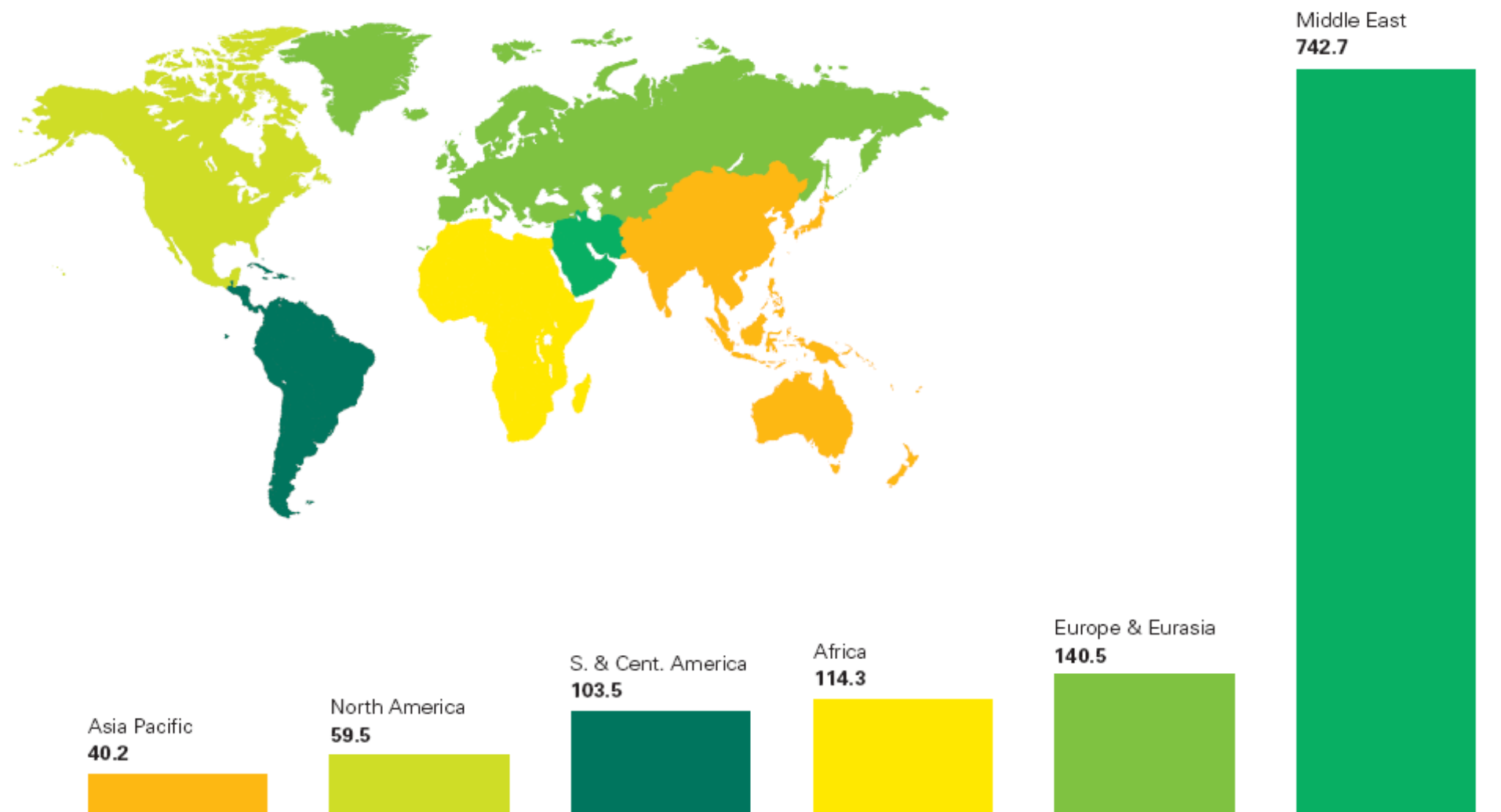
La producción mundial de petróleo se acerca actualmente a los 3.000 millones de toneladas, de los que una cuarta parte es producida por Oriente Medio y la mitad de esta cantidad es exportada a Europa occidental por la llamada ruta de los petroleros. En la producción y transporte de este producto hay grandes cantidades de pérdidas de crudo, unos diez millones de toneladas.

En la actualidad hay unos 6.300 petroleros navegando por los mares de todo el mundo. Más de la mitad son buques de gran tamaño que fueron construidos en los años 70, lo que hace pensar que pueden sufrir algún percance que termine en las tan temidas mareas negras, por lo que la mayoría de los gobiernos piden legislaciones más exigentes, con el fin de ejercer mayor control sobre el tráfico de estos buques, así como la mayor calificación posible de la tripulación de esos barcos.

Las reservas de crudo conocidas en 2005 se distribuían en el mundo como se muestra en la siguiente imagen:

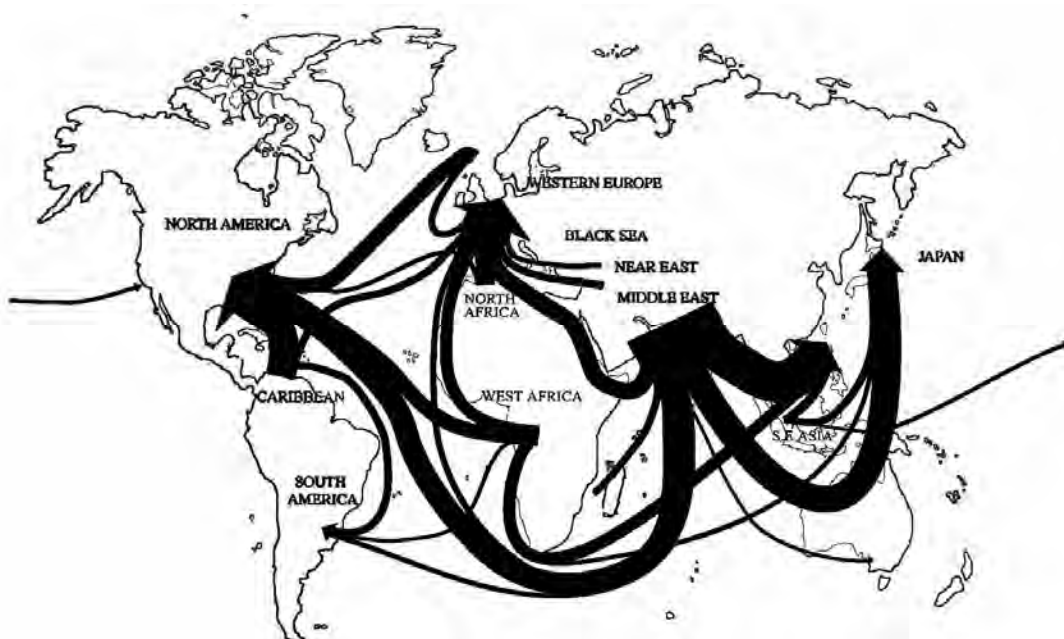


Proved reserves at end 2005
Thousand million barrels





Una imagen que muestra los actuales flujos de petróleos transportados por vía marítima es:

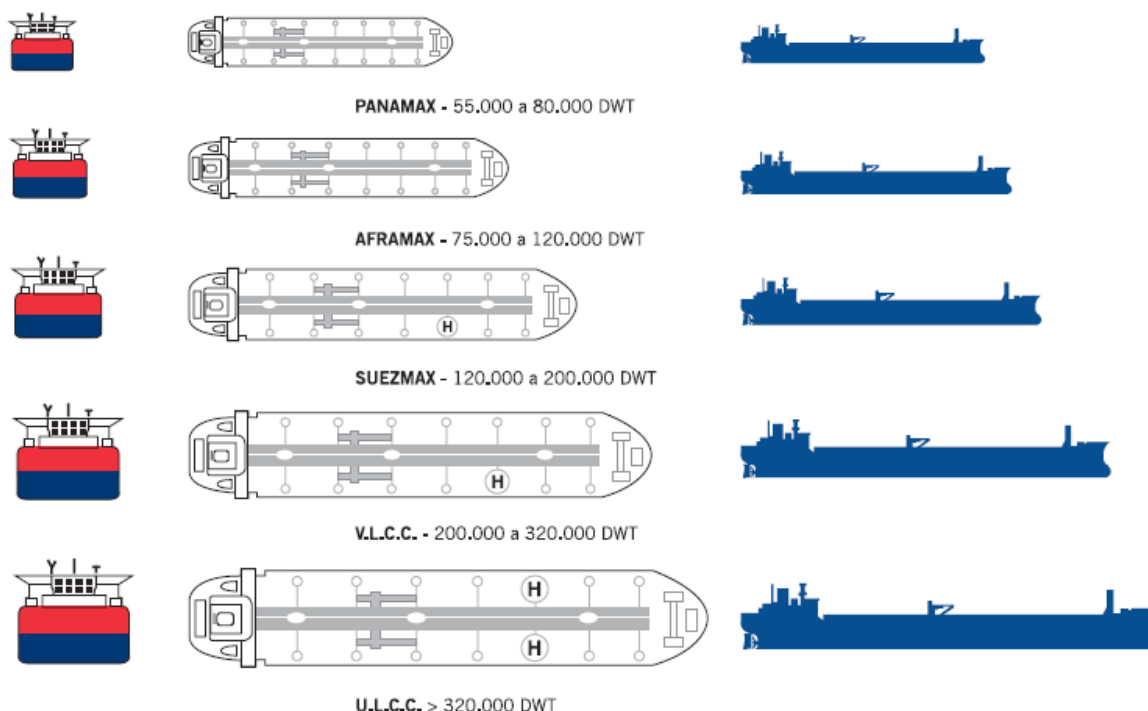


Los buques petroleros se suelen agrupar según su capacidad de transporte e idoneidad para cada tráfico:

- Coastal Tanker (Costeros): Son buques de hasta 16.500 TPM usados en trayectos costeros o cortos.
- General Purpose Tanker (Multipropósito): Van desde 16.500 a 25.000 TPM, operan en diversos tráficos.
- Handy Size Tanker: Se trata de módulos de 25.000 a 30.000 TPM, Ejemplos de áreas de operación son el Caribe, costa Este de los Estados Unidos, Mediterráneo y Norte de Europa.
- Panamax: Con tonelajes entre los 55.000 y 80.000 TPM. Su nombre se debe a que originalmente las dimensiones de estos buques cumplían con las máximas permitidas para su tránsito por el Canal de Panamá (274 metros de eslora, 32 m de manga y 13 m de calado).
- Aframax: Derivados de la *Average Freight Rate Assessment*, se acepta un rango de entre 75.000 y 120.000 TPM. Sus tráficos habituales incluyen cargamentos entre puertos ubicados en áreas como el Caribe, el mar Mediterráneo o el Golfo Pérsico.
- Suexmax: Sus módulos van desde las 120.000 hasta los 200.000 TPM. En sus orígenes su nombre estaba vinculado a que el módulo con su mayor carga cumplía con las máximas dimensiones permitidas para el tránsito por el canal de Suez, aunque hoy en día navegan por este canal buques de hasta 300.000 TPM.
- V.L.C.C. (Very Large Crude Carrier): Con pesos muertos desde 200.000 hasta 320.000 TPM. Por sus dimensiones se trata de buques que operan por lo general en terminales mar adentro.
- U.L.C.C. (Ultra Large Crude Carrier): Son todos aquellos cuya capacidad de carga supere las 320.000 TPM. Estos superpetroleros aparecen en el mercado a finales de los años '60. Debido a su gran tamaño son muy limitados para operar en aguas restringidas.



La siguiente imagen muestra una comparativa de estos tipos de petroleros:

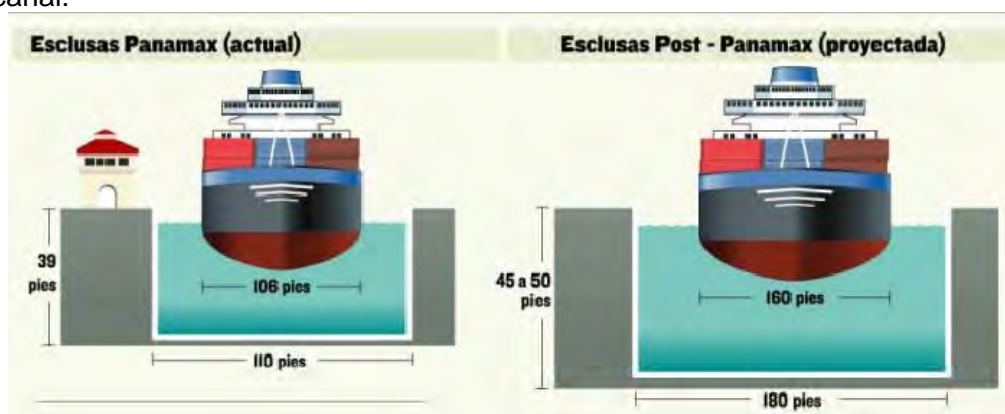


Una vez establecida esta clasificación para el tipo de buque a diseñar, es claro que por las toneladas de peso muerto requeridas en la especificación técnica (150.000), puede englobarse al buque proyecto en la categoría de petroleros tipo Suezmax.

Capacidad de operar atravesando el futuro canal de Panamá

El tráfico marítimo mundial ha obligado a plantear una ampliación de esta importante vía cuya finalización se estima entre 2014 y 2015. Esta ampliación fue aprobada por referéndum en 2006 por Panamá.

La ampliación consistirá en un tercer juego de esclusas que aportarán una mayor capacidad de buques y además incrementará el tamaño de estos pasando de mangas máximas de 106 pies (32,3 metros) a 160 pies (48,8 metros). Esto constituirá una nueva categoría de buques de carga, los llamados Post-Panamax. En la siguiente imagen se muestra una comparativa entre la capacidad de buques actual y la futura del canal:





Clasificación y cota

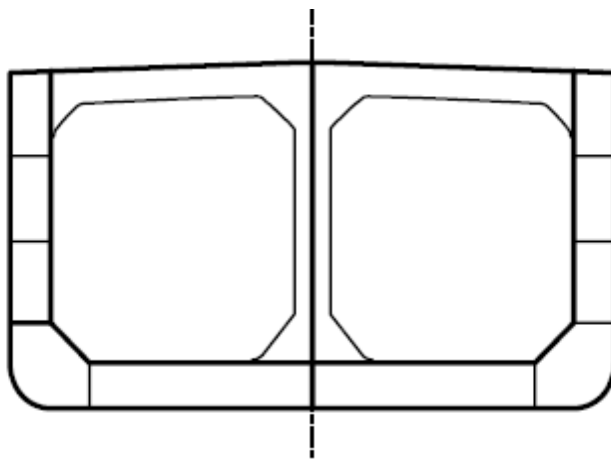
En el pliego de condiciones se hace referencia a la siguiente cota de clasificación: LR ⌘ 100 A1, D Hull Oil Tanker, CSR, IWS, LI, LMC, SCM, UMS, seguidamente se analizará cada uno de sus aspectos:

- LR: es el nombre de la sociedad de clasificación cuyo nombre completo es Lloyd's Register of Shipping.
- ⌘: Es asignada cuando se clasifican construcciones nuevas bajo las normas LR's Special Survey.
- D Hull Oil Tanker: Designa el tipo de buque, especificando además que dispone de doble casco.
- CSR: Las llamadas *Common Structural Rules*, que son unas normas de clasificación que regulan aspectos estructurales de petroleros de doble casco con esloras mayores o iguales a 150 metros. Estas normas han sido adoptadas por todos los miembros de IACS (*International Association of Classification Societies*) y están en vigor para todos los buques de este tipo contratados desde el 1 de Abril de 2006.
- IWS: Esta notación hace referencia al "control en el agua" se puede asignar a un buque que cumpla con los requisitos del LR aplicables a este respecto.
- LMC: Se asigna cuando la maquinaria propulsora y auxiliar se ha construido, instalado y probado bajo un control especial del LR y de acuerdo con sus reglas y regulaciones.
- SCM: Se refiere a la monitorización de las guardias nocturnas.
- UMS: Se asigna cuando la cámara de máquinas puede operar desatendida. Indica que el equipo de control se ha arreglado, instalado y probado de acuerdo con las reglas del LR, o es equivalente.

Configuración geométrica y estructural de los petroleros Suezmax

La disposición general de los petroleros de crudo sigue unas directrices más o menos constantes con independencia de su tamaño. Los petroleros de crudo de doble casco arrancan con una cubierta superior continua, a la que se le incorpora o no un castillo a proa, dependiendo del porte del buque y de las preferencias del armador.

Respecto a la zona de la cántara la configuración típica de un petrolero tipo Suezmax es la siguiente:





Como puede apreciarse la zona de carga está separada por un mamparo longitudinal, además se dispone doble casco y doble fondo en toda su longitud cumpliendo con los requerimientos de IMO. Se han construido algunos petroleros Suezmax sin mamparos longitudinales, pero los accidentes en los pantalanos de carga y las reclamaciones de las compañías armadoras han frenado esta tendencia.

En el sentido de la eslora la cántara está subdividida por medio de mamparos transversales planos, que definen el número de tanques de carga que incorpora el buque, para los del tamaño del buque proyecto siempre suelen ser 12 (6 a babor y 6 a estribor) + 2 o más tanques de decantación o "slop" que se disponen a popa de los tanques de carga. En la siguiente imagen se muestra el proceso de construcción de la zona de carga de un buque de estas características:



En el centro del buque y sobre la cubierta principal, va dispuesta la zona del servicio de carga, a través del cual se carga/descarga el buque. La cámara de bombas está situada a popa de la cántara.

La cámara de máquinas siempre va situada a popa y la superestructura está dividida en dos secciones, de manera que la parte de proa, que incorpora los alojamientos de la tripulación, queda aislada de la zona de guardacalores y chimenea que, por su naturaleza, es zona generadora de ruido, calor y vibraciones.

La superestructura de proa contiene además el puente de gobierno, en la cubierta del puente se suelen disponer alerones autosoportados que se extienden hasta los costados del buque para facilitar el control visual de las faenas de amarre.



El motor propulsor siempre es de 2 tiempos y directamente acoplado a una hélice de palas fijas. A popa de la superestructura se dispone el equipo de amarre.

Un esquema básico de la disposición general de esta clase de buques es:

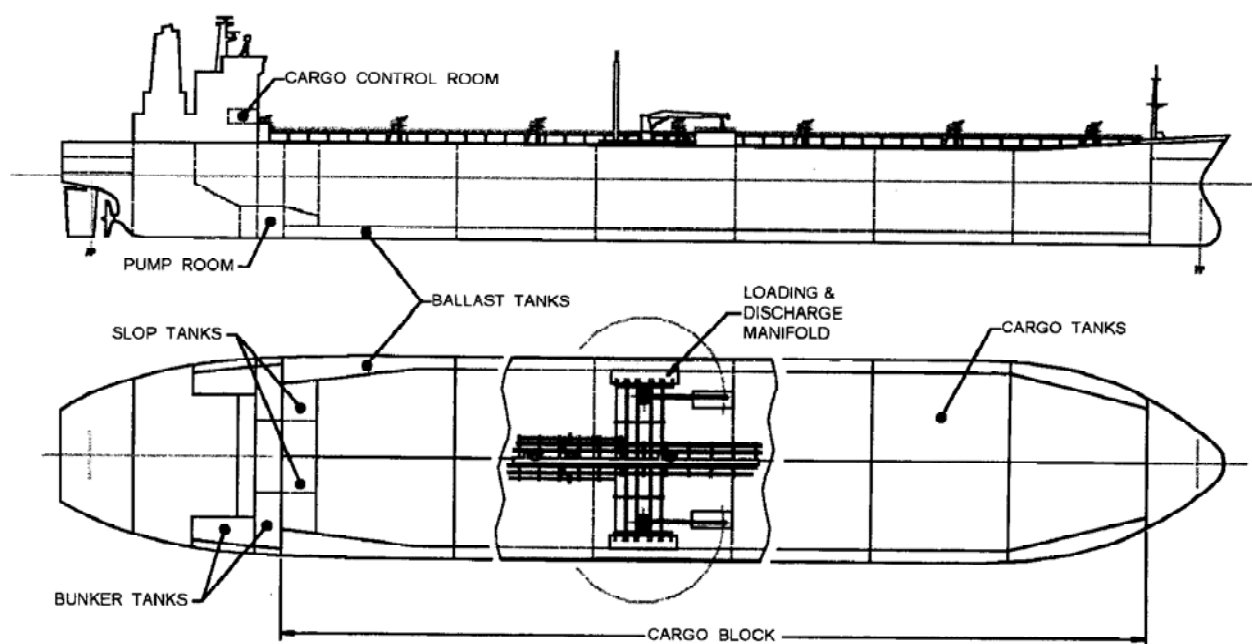


Figure 29.6 Typical Configuration of a Crude Oil Carrier

Reglamentación a cumplir

La reglamentación más importante bajo la que se ha diseñado el buque proyecto se resume en los siguientes puntos:

- Convenio Internacional de líneas de carga 66/88 (2005).
- Common Structural Rules for Double Hull Oil Tankers (CSR) publicadas por IACS.
- Convenio MARPOL 73/78/90 y enmiendas.
- Reglamentos generales del Lloyds Register of Shipping, "Rules and Regulations for the Classification of ships. 2007 Edition".
- Convenio SOLAS. Edición consolidada 2004.
- Convenio Internacional sobre Arqueo de Buques (18 de Julio de 1982).
- Standards for Oil Tanker Manifolds and Associated Equipment, de la OCIMF (Oil Companies International Marine Forum).
- Recommendations for Equipment Employed in the Mooring or Ships at Single Point Moorings, de la OCIMF (Oil Companies International Marine Forum).



Mercado actual de buques petroleros Suezmax

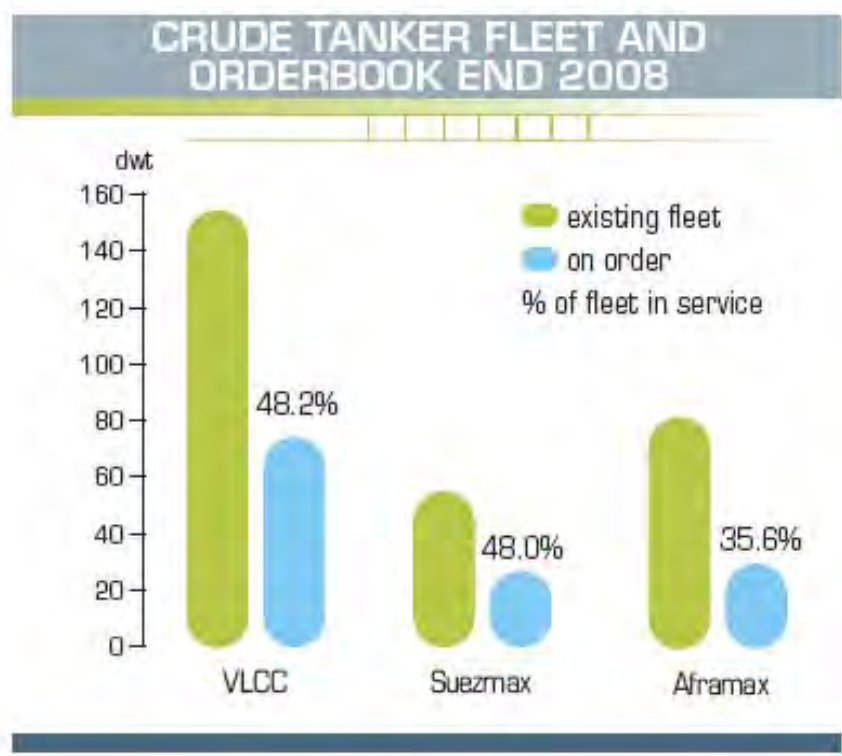
Un rasgo particular de los Suezmax, es la ventaja de su tamaño especialmente en puertos con limitaciones de calado tales como los estadounidenses. Esos buques requieren menos gabarrage que los superpetroleros y atraen por tanto más cargamento cuando en los puertos de destino hay restricciones.

Los Suezmax se emplean habitualmente en el comercio desde África occidental a Europa noroccidental y desde África occidental al Caribe/Costa Este de América del norte, así como en todo el Mediterráneo. La ampliación del canal de Panamá con total seguridad cambiará estas rutas habituales ampliando el abanico de posibilidades para estos buques y por tanto su demanda.

Según la referencia [30], a finales de 2008, la flota de petroleros Suezmax era de 363 buques con una edad media de 8,7 años. En cuanto a las nuevas construcciones el ritmo de entregas durante los últimos años fue de entre 23 y 26 unidades, sin embargo en 2008 fue menor con solo 13 unidades entregadas, por lo que el balance de buques en este año fue negativo puesto que se retiraron 19 de ellos del mercado.

Sin embargo el panorama vuelve a cambiar para 2009 donde están programadas unas 65 entregas y otras 45 para 2010 y 2011. Aunque debido a la actual situación financiera se teme la cancelación de alguno de estos contratos.

En base a todo ello, la situación del mercado de nuevas construcciones para buques petroleros a finales de 2008 era (Referencia [31]):



Donde como puede verse el porcentaje de la cartera de pedidos con respecto a la flota existente de los buques Suezmax es del 48%.



5 CUADERNOS DE PROYECTO

El proceso de definición del buque proyecto se ha dividido en una serie de campos, cada uno de los cuales se ha descrito en un documento o cuaderno de proyecto. En los siguientes puntos se resume el contenido de cada uno de estos cuadernos y los resultados y conclusiones a los que se ha llegado.

5.1 Dimensionamiento

El dimensionamiento del buque se comenzó estableciendo una base de comparación de buques del mismo tipo y tamaño que el buque a proyectar. Para ello se hizo uso de la base de datos de la sociedad de clasificación Lloyds Register (www.sea-web.com).

Los criterios de búsqueda de estos buques fueron los siguientes:

- Petroleros para crudo de doble casco contruidos o bajo encargo desde 1997 hasta la actualidad.
- Pesos muertos comprendidos entre 140.000 y 160.000 toneladas.

Se encontraron un total de 155 buques cumpliendo con estas características, eliminando los buques gemelos que no aportan ninguna información adicional, la base de datos se redujo a 51 buques.

El buque adoptado como buque base por su parecido a las características del buque que se pretende proyectar, es el BRITISH HARRIER, que es un petrolero de crudo tipo Suezmax construido en Corea por el Astillero Samsung Heavy Industries que fue entregado a su armador, BP shipping, en 1997, por lo que no cumple con las CSR.





En base todos estos datos y a los requisitos de la especificación se establecieron los límites de los principales parámetros de diseño:

Relación adimensional	Valor mínimo	Valor máximo	Media base de datos
L/B	5,43	5,85	5,53
B/D	1,92	2,13	2,03
T/D	0,69	0,74	0,71
L/D	10,50	11,60	11,21
B/T	2,60	3,00	2,84
Fn	0,143	0,160	0,1539

El paso siguiente fue la generación de alternativas variando los siguientes parámetros como se indica a continuación:

B	L/B	B/D
48,8	5,43	1,92
48,2	5,53	1,97
47,6	5,63	2,02
47,0	5,73	2,07
46,4	5,83	2,12
45,8		

Dando como resultado un total de 150 alternativas de proyecto, cuyas características principales se evaluaron con las expresiones empíricas expuestas en las referencias [1], [2] y [3].

Tras imponer una serie de requisitos técnicos y económicos se decidió adoptar la siguiente alternativa para continuar con el desarrollo del proyecto:

L	259,91 m
B	47,00 m
D	24,40 m
T	16,78 m
Cb	0,830
Cm	0,997
Cp	0,833
Cwp	0,902
Xb	2,88

Lp	43,15
α	47,91°
Sup Mojada	18.704 m ²
Potencia (15.2 knt)	24.274 HP
Peso en rosca	24.834 t
KG del rosca	15,28 m
Desplazamiento	174.834 t
Capacidad de carga	170.831 m ³
KG plena carga	13,99 m



5.2 Formas

Partiendo de los resultados obtenidos en el proceso de dimensionamiento se generaron unas formas que se ajustan a los requerimientos de la especificación de proyecto, a través de una transformación afín de las formas de un buque con las siguientes características:

Eslora total	333 m
Eslora entre perpendiculares	318 m
Manga	57 m
Puntal	31 m
Calado de Diseño	21 m

La transformación afín se llevó a cabo en el módulo FORMF de FORAN60 y dio como resultado unas formas con las siguientes características:

Eslora total “L_T”	272,20 m
Eslora en la flotación “L_F” (2)	265,31 m
Eslora entre perpendiculares “L” (2)	260,00 m
Manga de trazado “B”	47,00 m
Puntal de trazado “D”	24,40 m
Calado de proyecto “T”	16,80 m
Abscisa centro de carena “X_b” (1) (2)	8,31 m
Posición longitudinal del centro de carena “X_b” (1) (2)	3,1
Abscisa c.d.g. de la flotación “X_F”(1) (2)	- 1,76 m
Coeficiente de bloque “C_b” (2)	0,830
Coeficiente de la flotación “C_{wp}” (2)	0,912
Coeficiente de la maestra “C_m” (2)	0,997
Coeficiente prismático longitudinal “C_p” (2)	0,833
Longitud del cuerpo cilíndrico “L_p”	40 (% de L)
Ángulo de entrada en la flotación “α” (2)	51 °
Volumen de carena (2)	170.442 m ³
Desplazamiento “Δ” (2)	174.683 ton

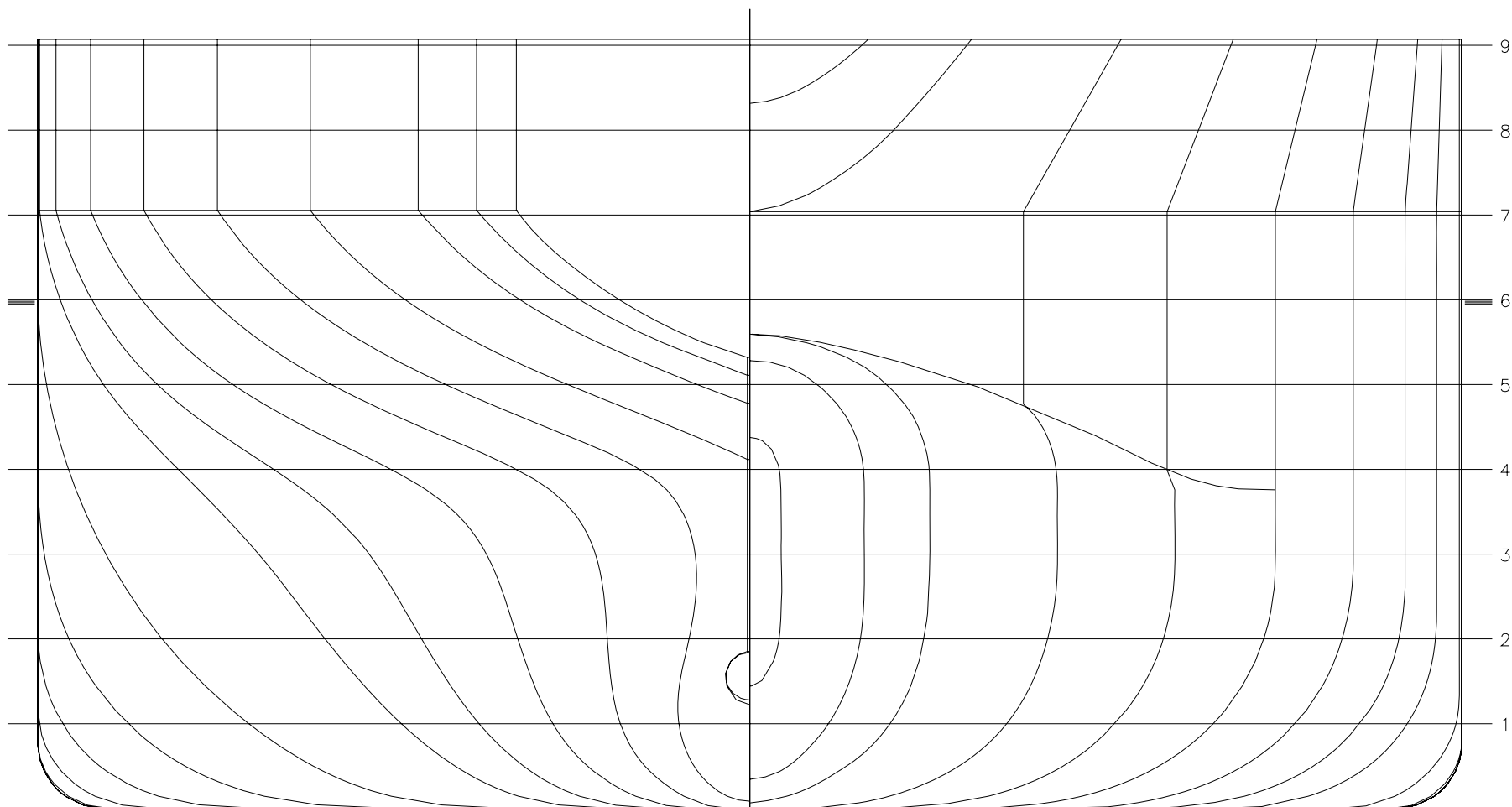
(1): Valores positivos a proa de la cuaderna maestra.

(2): Referidos al calado de proyecto “ T ”

Se presenta a continuación el plano de formas obtenido en el módulo DECKB de FORAN60. Se presenta la caja de cuadernas separada de los longitudinales y las líneas de agua para una mejor visualización; A parte de ello se presenta con el proyecto un plano de formas en formato A0 y a escala 1:300.

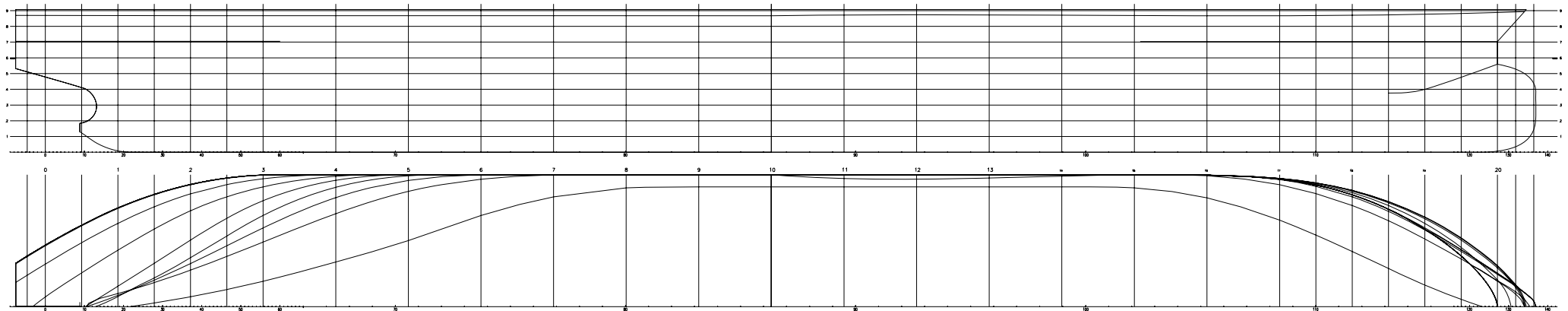


Caja de cuadernas





Perfil y líneas de agua:





5.3 Disposición general

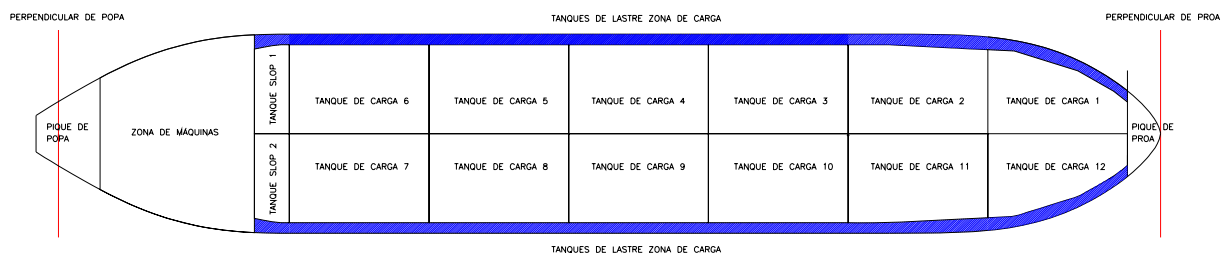
Partiendo de las formas generadas y de los requerimientos impuestos por la reglamentación y por la normativa a cumplir se definió la disposición general del buque; Los requisitos más importantes en este sentido son:

- Cubierta corrida.
- Habitación y cámara de máquinas a popa.
- Cofferdam entre tanques de combustible y mar.
- Motor 2T lento directamente acoplado a hélice de paso fijo.
- 3 Diesel generadores, 2 calderas principales y caldereta mixta de gases de escape y mecheros.
- 12 tanques de carga + 2 de derrames.
- Capacidades:
 - Capacidad de carga: 170.000 m³.
 - Capacidad de combustible: 3.900 m³ (4,5 %; 1,5 % y 0,1% de contenido en Azufre).
- 32 cabinas individuales con baño privado + 2 cabinas dobles de reserva con baño privado y un rancho para 6 personas.
- Amarre: 18 líneas sobre carretel partido. Bitas alije (OCIMF, EXXON). Grúa de mangueras (OCIMF, EXXON).

Las características más importantes de las distintas zonas del buque son:

- Zona de proa: la separación de cuadernas en esta zona es de 700 mm, el mamparo de colisión se dispone a una abscisa de 252,20 m (7,80 metros a popa de la perpendicular de proa) cumpliendo con lo establecido por las CSR en su regla 2.2 de la Sección 5.
- Zona de popa: la separación de cuadernas en esta zona es también de 700 mm (estructura transversal), la posición del mamparo que limita esta zona por proa se fijó en 15,11 metros desde el extremo más a popa del buque con una abscisa de 9,8 metros y situado en la cuaderna número 14.
- Zona de carga: En esta zona se fijan tanto la altura del doble fondo como la anchura del doble casco que son respectivamente 2,6 y 2,5 metros. En base a ello se fija la longitud de la cántara en 206 metros lo que supone una capacidad neta de 170.799 m³, cumpliendo así con la capacidad de carga requerida por especificación.

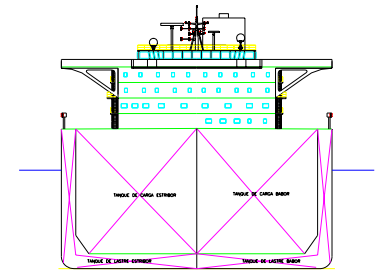
La compartimentación de la cántara se ha hecho en base a lo establecido en MARPOL con una eslora de los tanques de carga de 32,96 metros. La separación de bulárcamas (estructura longitudinal) es de 4,12 metros. Como resultado de todo ello se llegó a la definición de la zona de carga:





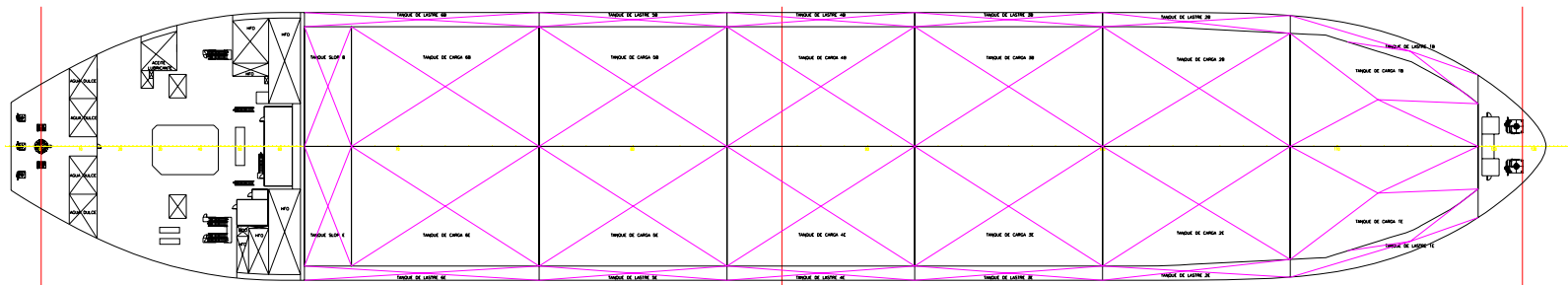
- Superestructuras: Se disponen dos superestructuras:
 - Habilitación: Esta zona se divide en 6 cubiertas con una altura libre de 2,7 metros en cada una, ordenándolas desde la más alta a la más baja son las siguientes:
 - Sobrepunte
 - Cubierta del puente de navegación
 - Cubierta de alojamiento de oficiales (Cubierta C)
 - Cubierta de alojamiento de la tripulación (Cubierta B)
 - Cubierta de servicios y oficinas (Cubierta A)
 - Cubierta superior
 - Chimenea y guardacalor: Esta superestructura está situada a popa de la de habitación y aloja la chimenea, el guardacalor y otros locales que son:
 - Local de botellas de oxígeno.
 - Local de botellas de acetileno.
 - Local del generador de emergencia.
 - Local del gas inerte e incinerador.
 - Acceso a cámara de máquinas desde el interior de la superestructura.
- Zona de máquinas: La cámara de máquinas se sitúa bajo la cubierta principal y a popa de la cántara, la altura del doble fondo en esta zona es igual a la de la zona de carga (2,60 metros). La cámara de bombas aloja el equipo de manejo de la carga y lastre, está situada en un local independiente dentro del espacio de cámara de máquinas (aunque no está comunicada con ella).
- Zonas de amarre, fondeo y local del servo: Las zonas de marre se disponen en la cubierta principal a lo largo de toda la eslora del buque.
El local del servo se dispone justo debajo de la cubierta principal en el extremo de popa y a la misma altura que la tercera plataforma de la cámara de máquinas. En él se encuentra la maquinaria necesaria para el accionamiento y control del timón.
La zona de fondeo se sitúa en el extremo de proa con los elementos necesarios para fijar el buque al fondo del mar.

Se presentan a continuación una serie de imágenes que muestran la disposición general del buque:

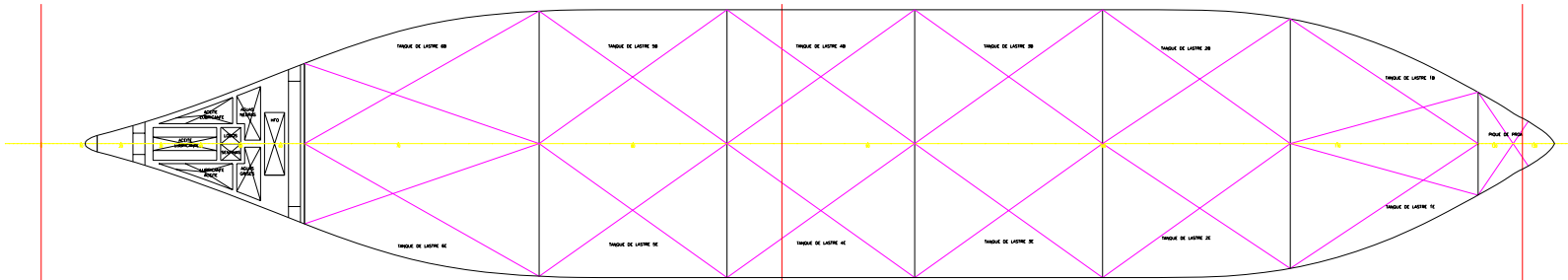




CORTE BAJO LA CUBIERTA PRINCIPAL



DOBLE FONDO (2,60 M)





5.4 Cálculos de arquitectura naval

En este cuaderno se incluyen las características principales de las formas generadas que son:

- Principales características hidrostáticas para distintos trimados y entre los calados 2,5 y 20 metros.
- Brazos de adrizamiento para desplazamientos entre 20.000 y 240.000 toneladas y para los ángulos de escora: 5°, 10°, 15°, 20°, 25°, 30°, 40°, 50°, 60°, 70°, 80°.

Además se presentan en este cuaderno las capacidades y posición de sus centros de gravedad de todos los tanques del buque.

En este cuaderno también se realizó el cálculo del francobordo de acuerdo con el Convenio Internacional sobre Líneas de Carga de 1966, los resultados obtenidos se resumen en la siguiente tabla:

CONDICIÓN	FRANCOBORDO (m)	CALADO DE TRAZADO (m)
VERANO	7,238	17,129
TROPICAL	6,881	17,486
INVIERNO	7,595	16,772
INVIERNO ATLÁNTICO NORTE	7,595	16,772
AGUA DULCE	6,842	17,525

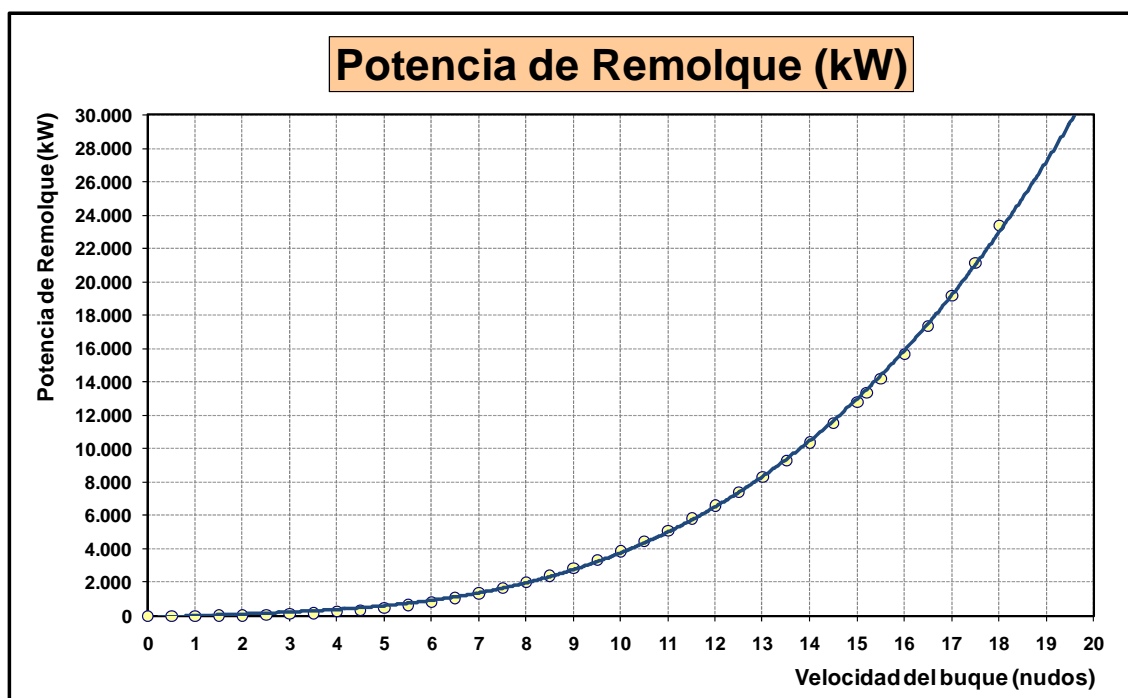
Por último se hizo el cálculo del arqueo en base al Convenio Internacional sobre Arqueo de Buques (Londres 1969) obteniendo los siguientes resultados:

Arqueo bruto	81.155 GT
Arqueo neto	43.993 NT

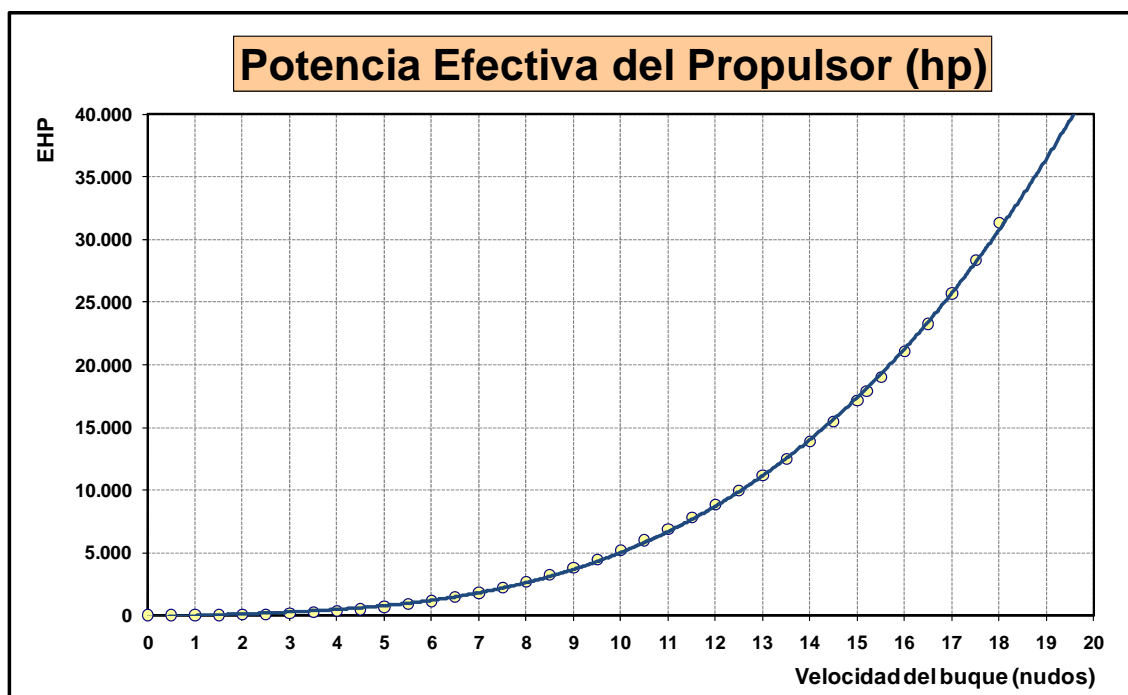


5.5 Predicción de potencia. Diseño del propulsor y timón

En este documento se evalúa la resistencia al avance de las formas generadas a través del método de Holtrop-Mennen, para ello se hizo uso del módulo POWER de FORAN60 y se obtuvo la potencia de remolque y la potencia efectiva del propulsor a las distintas velocidades:



También se obtiene la potencia que debe aportar el propulsor para navegar a las distintas velocidades:





El siguiente paso fue la definición del propulsor. Teniendo en cuenta el espacio disponible, su diámetro se fijó como el máximo posible e igual a 8,20 metros, además se evaluaron dos alternativas de proyecto del propulsor: hélices de palas fijas de 4 y de 5 palas.

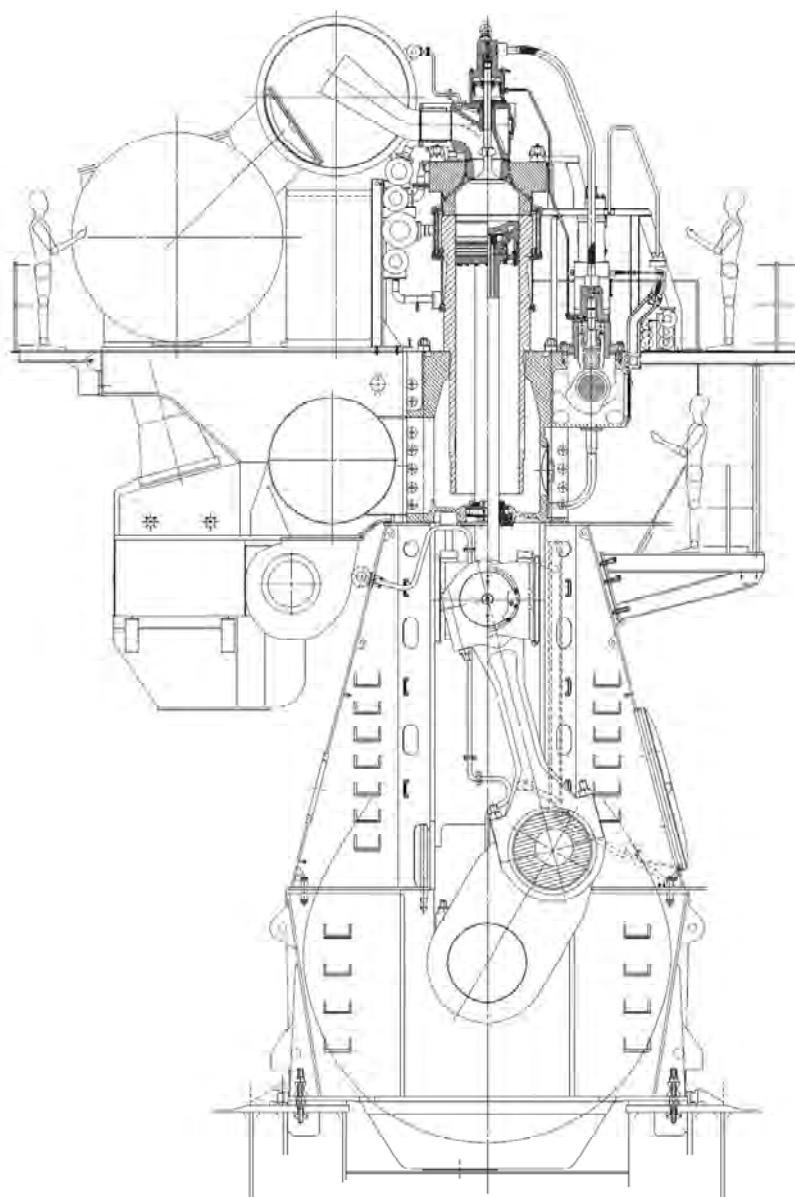
Se obtuvieron mejores resultados para las hélices de 5 palas por lo que se eligió esta alternativa, seleccionando un propulsor con las siguientes características:

Diámetro	8,20 m
Relación Área/Disco	0,675
Relación Paso/Diámetro	0,691
Deducción de empuje	0,2175
Rendimiento en aguas libres	0,2864
Rendimiento rotativo - relativo	1,0180

Una vez definida la hélice del buque se procedió a la elección del motor principal, este proceso de selección dio como resultado la adopción del motor MAN B&W 7 S70MC-C7, cuyas características principales son las siguientes:

Potencia nominal	21.770 kW
Revoluciones nominales	91 r.p.m.
Número de cilindros	7
Consumo específico 100 % potencia	169 g/kWh
Consumo específico 80 % potencia	166 g/kWh
Presión media efectiva (punto óptimo)	19,0 bar
Velocidad media del pistón	8,5 m/s
Consumo específico de aceite	0,15 g/kWh
Consumo específico de aceite cilindros	0,70 g/kWh
Caudal de gases de exhaustación (p.o.)	195,3 kg/h
Temperatura de los gases de exhaustación	245 °C
Masa del motor seco	624.000 kg
Masa de agua con el motor en servicio	1.910 kg
Masa de aceite con el motor en servicio	2.440 kg

Una imagen frontal de este motor es:

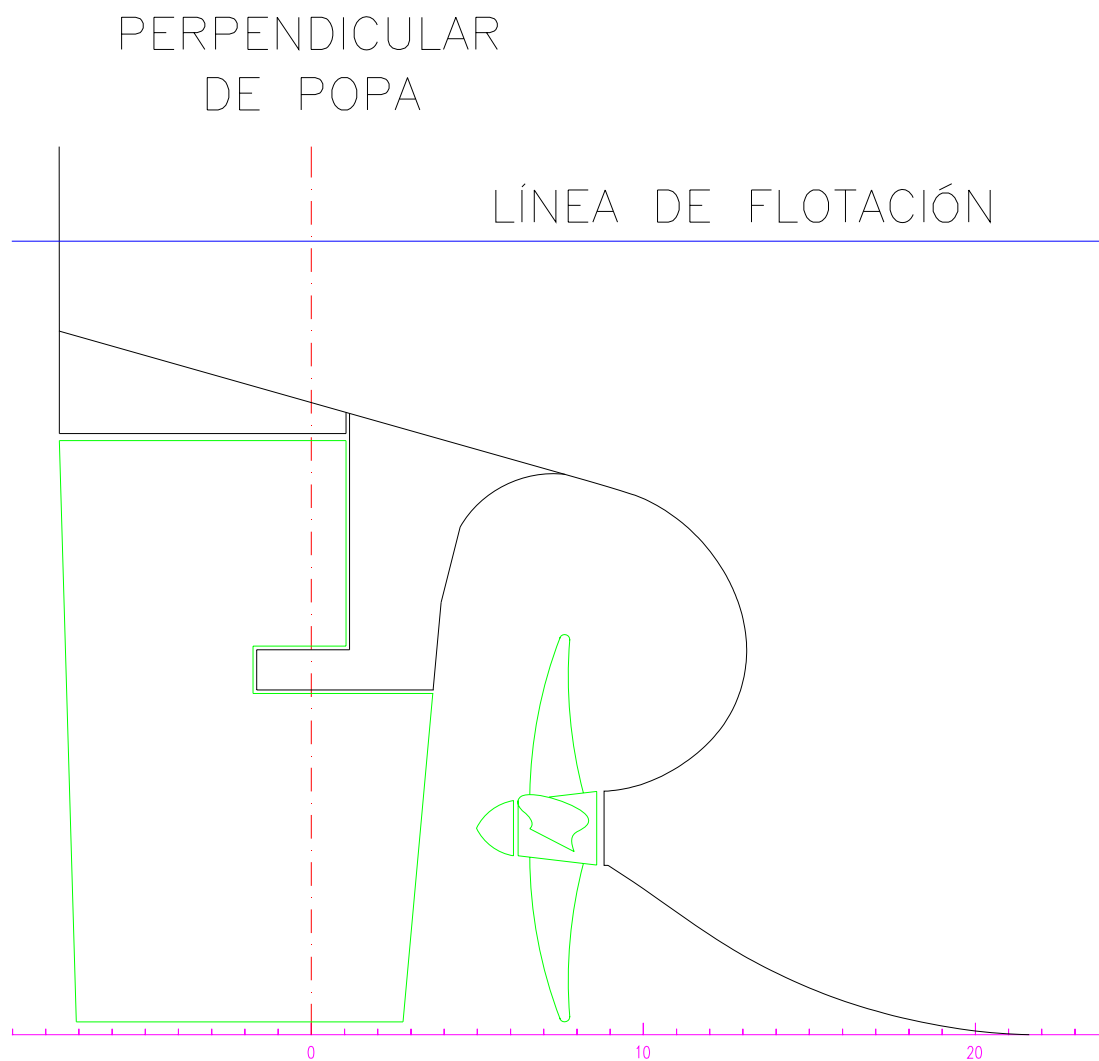


Finalmente fue definido el timón del buque llegando a un timón con las siguientes características:

Área del timón	78,62 m ²
Altura del timón	12,310 m
Cuerda	6,224 m
Espesor	0,934 m
Ángulo de desprendimiento de flujo	38,0°
Relación de alargamiento	1,979
Relación de espesor	0,15



El timón adaptado a las formas del buque se muestra en la siguiente imagen:

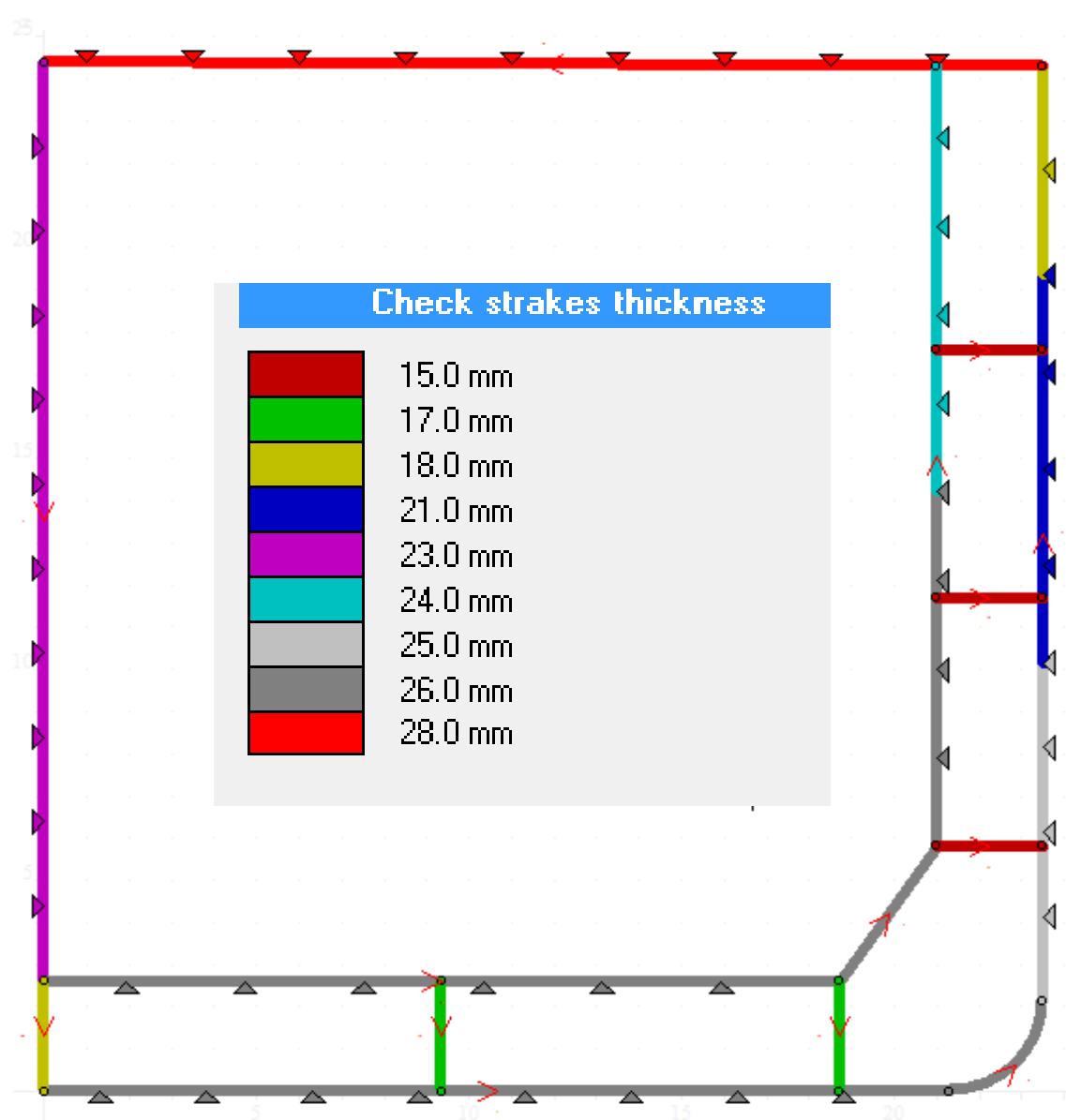




5.6 Cuaderna maestra

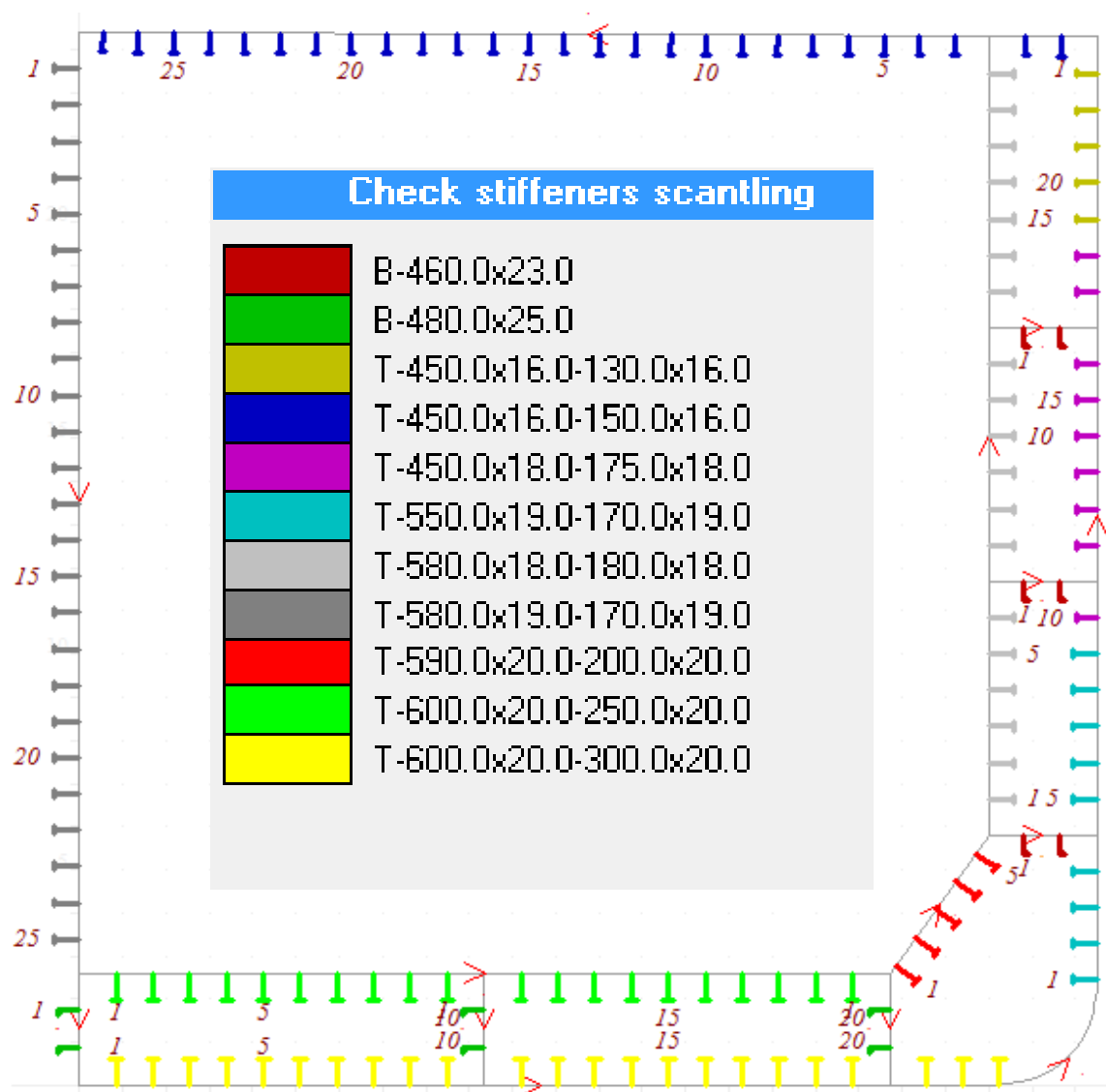
Los elementos de la cuaderna maestra se dimensionaron en base a lo establecido en las Common Structural Rules. Para los cálculos geométricos se ha usado el programa MARS2000 del Bureau Veritas. El proceso ha dado como resultado la siguiente configuración de elementos longitudinales:

Planchas





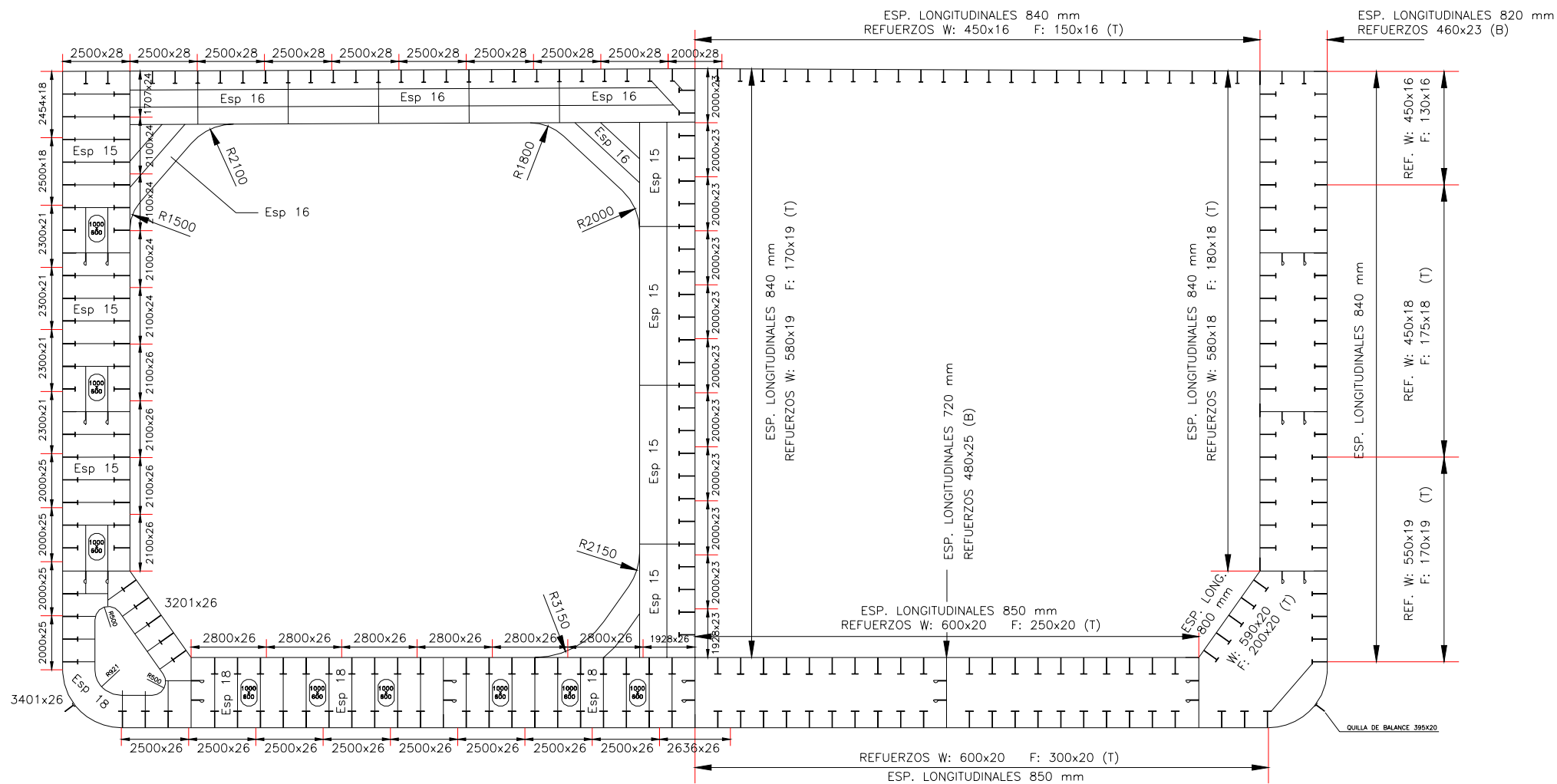
Refuerzos longitudinales



Con respecto a los refuerzos transversales, se han dispuesto con las siguientes características:

Transversales de fondo	18 mm
Transversales de costado	15 mm
Transversales mamparo longitudinal	15 mm
Transversales de cubierta	16 mm
Refuerzos transversales de pantoque	20 mm

La disposición de estos elementos en la cuaderna maestra se muestra en la siguiente imagen:



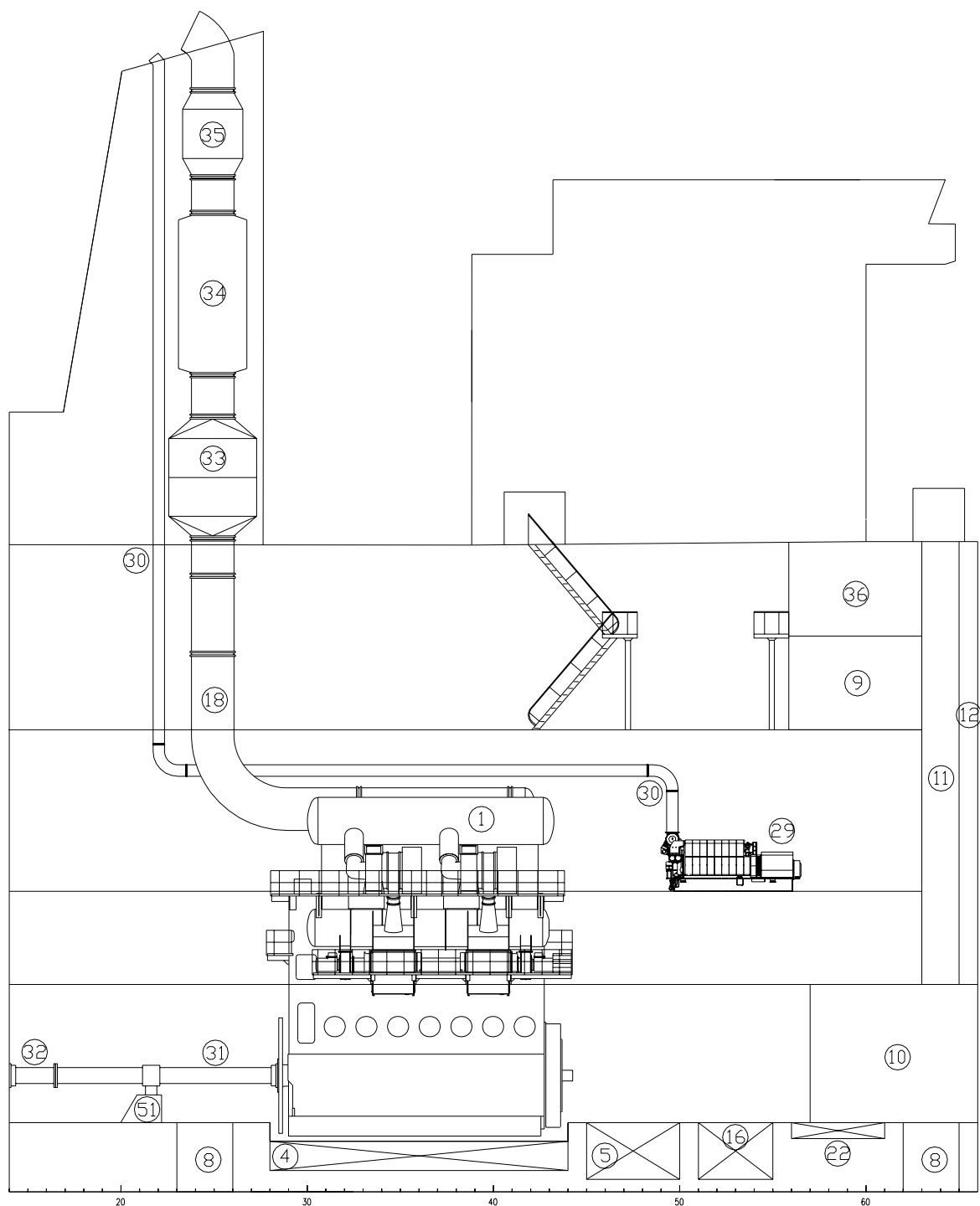


5.7 Cámara de máquinas

En este cuaderno se dimensionan los principales equipos y sistemas de cámara de máquinas que son:

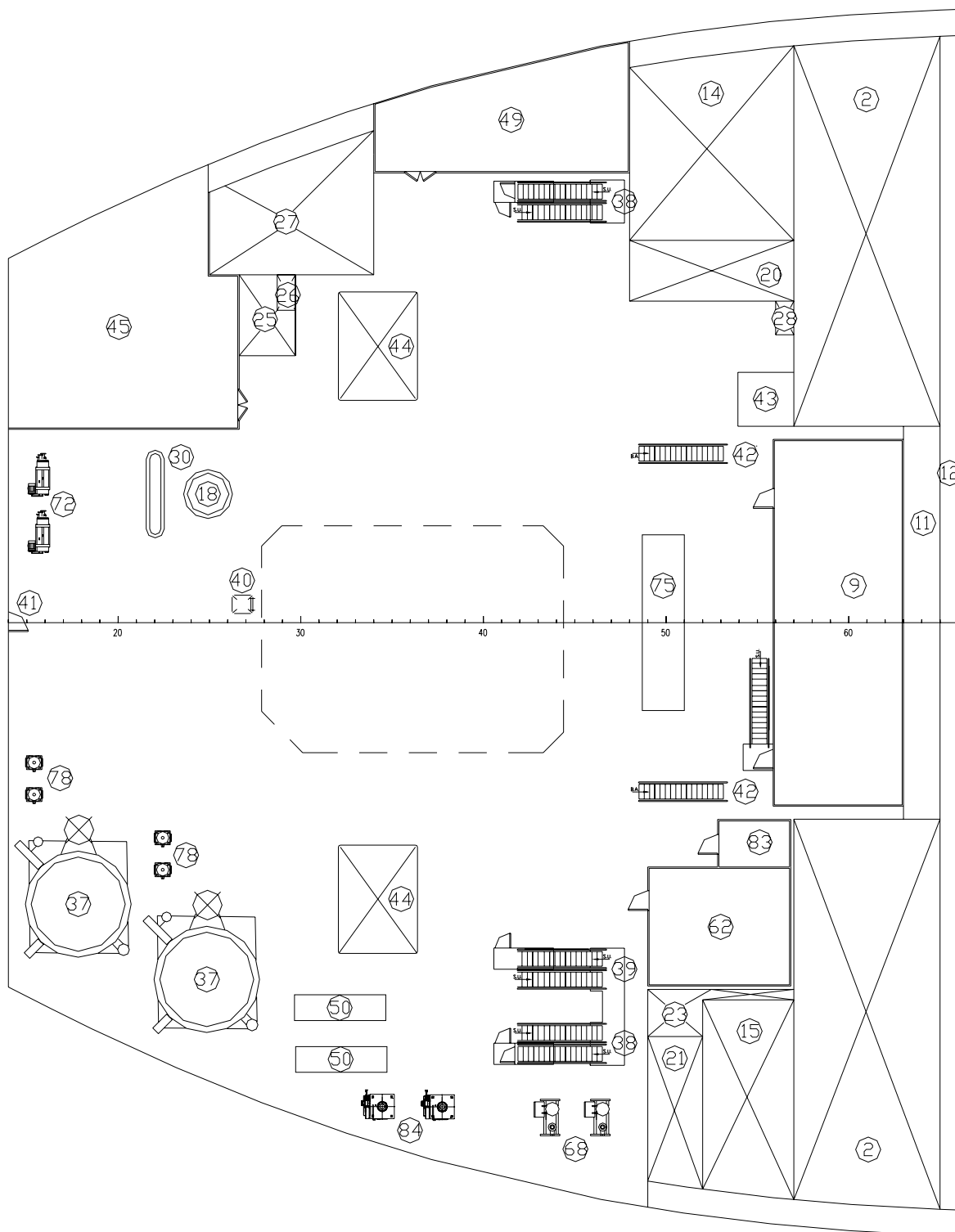
- Propulsión
- Generación eléctrica
- Servicio de vapor
- Servicio de agua de mar
- Servicio de agua dulce
- Ventilación y extracción
- Servicio de aire comprimido
- Servicio de combustible
- Engrase y lubricación
- Servicios de habilitación
- Servicios ecológicos

La disposición de la cámara de máquinas se muestra en las siguientes imágenes:



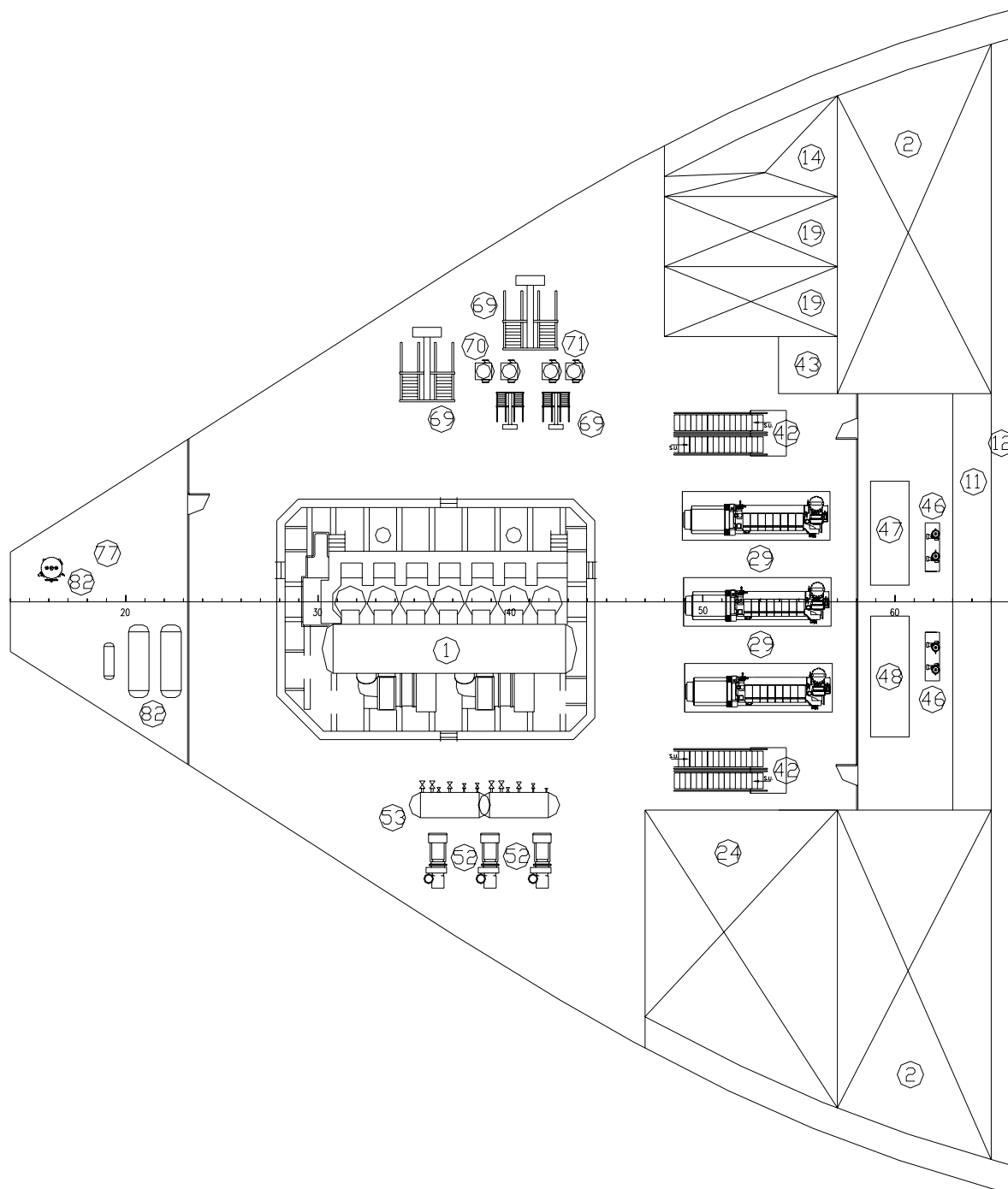


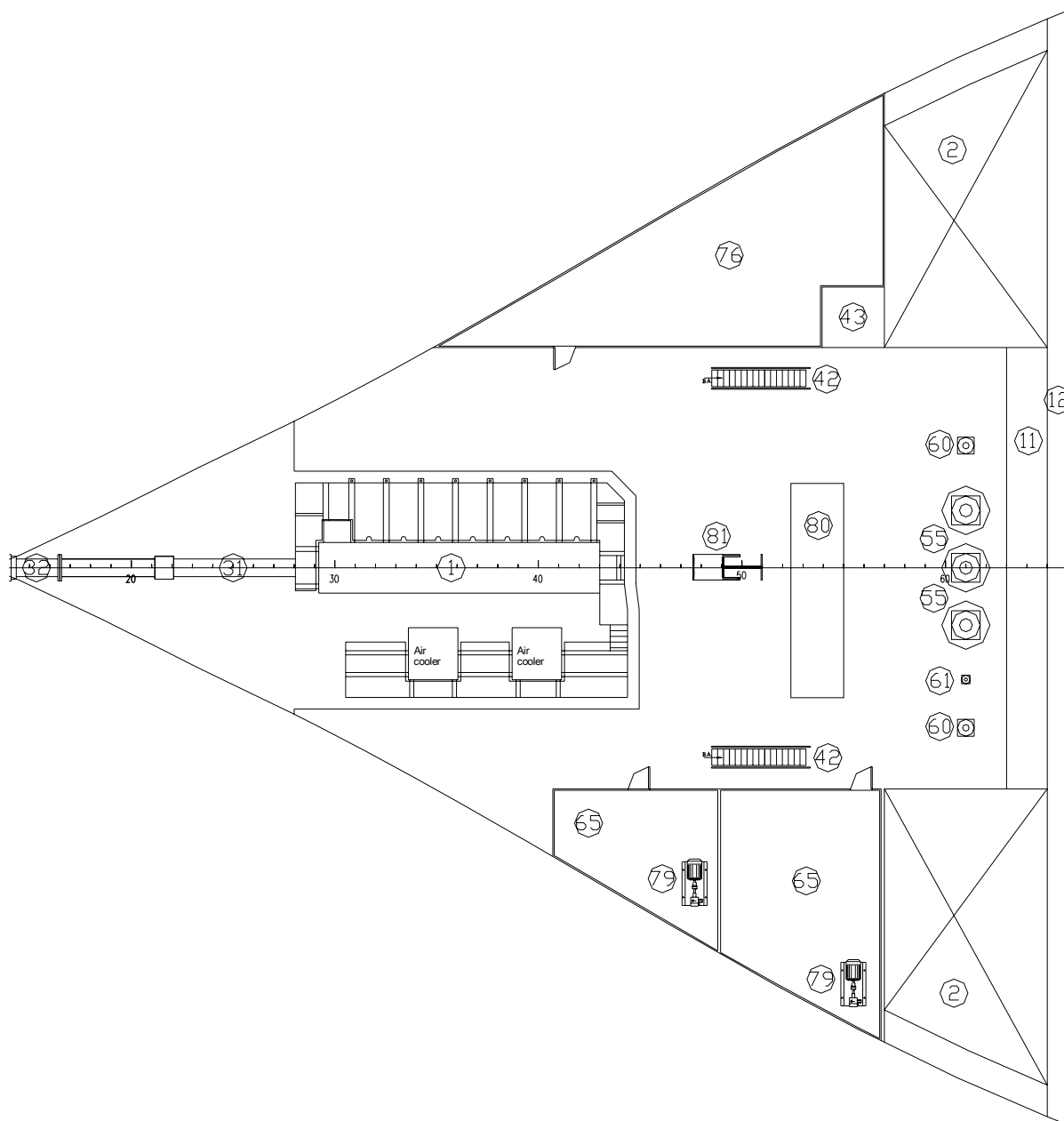
Tercera plataforma (altura sobre la línea de base 17,37 metros)





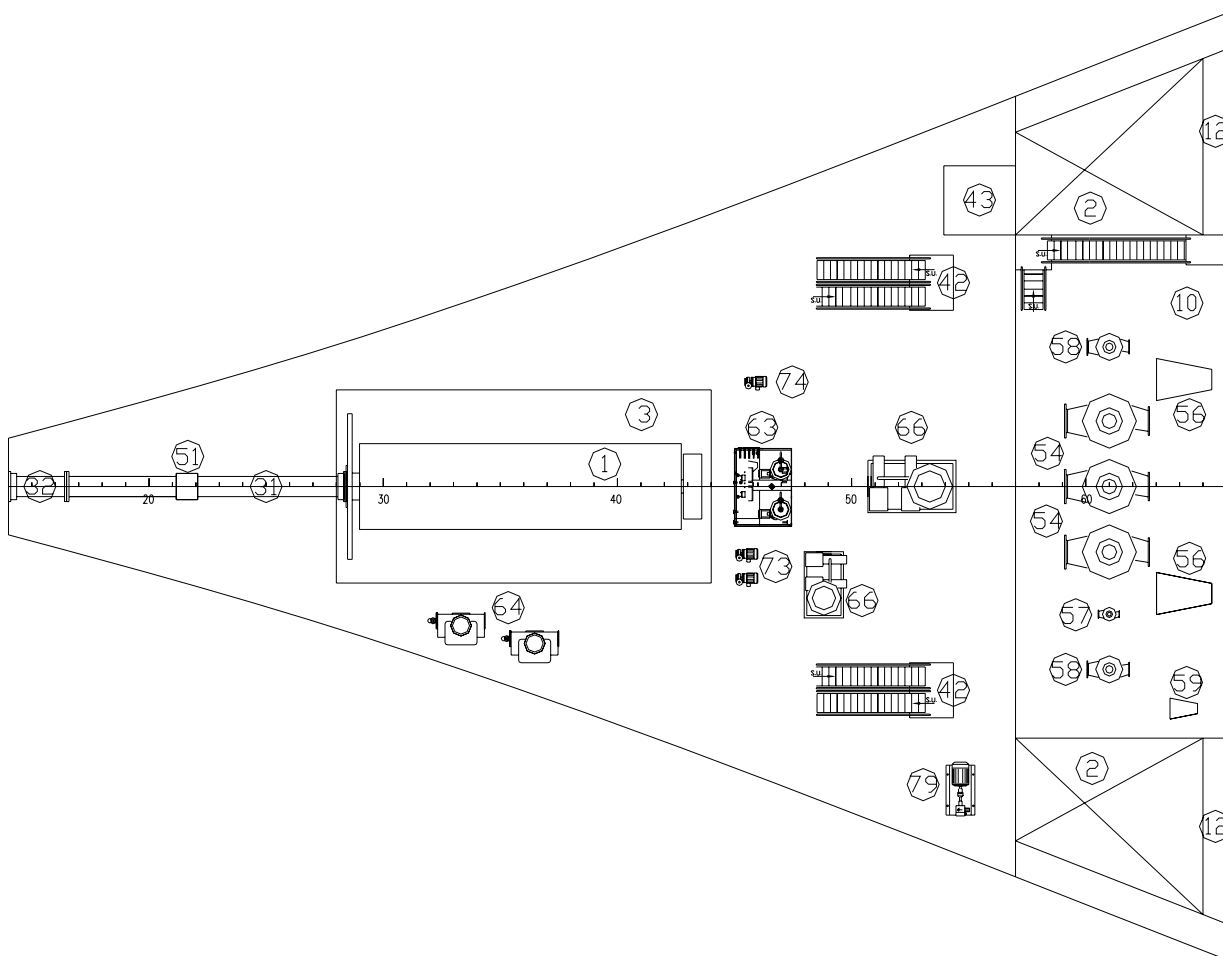
Segunda plataforma (altura sobre la línea de base 11,30 metros)





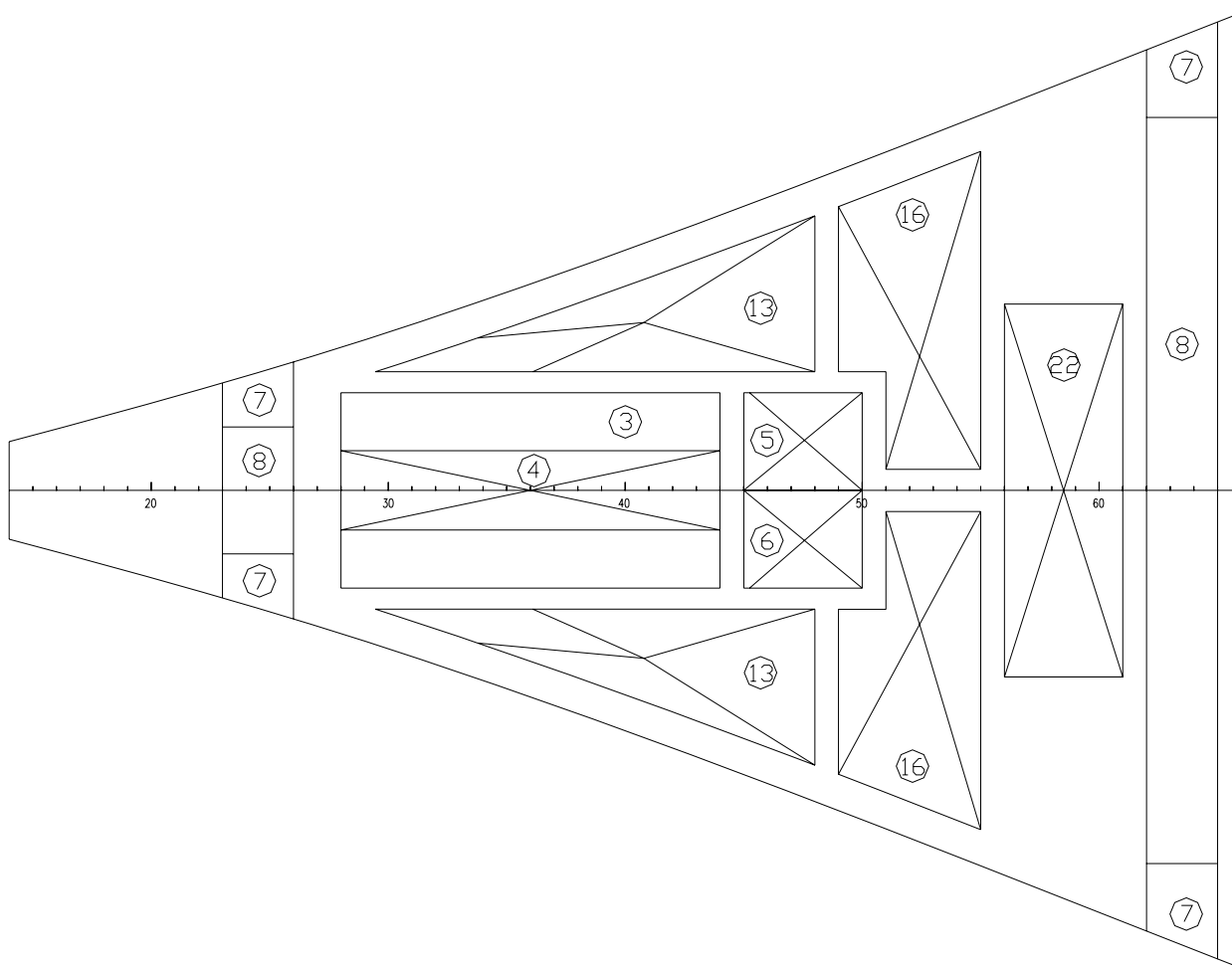


Suelo cámara de máquinas (altura sobre la línea de base 2,60 metros)





Techo del doble fondo (altura sobre la línea de base 2,60 metros)





Los elementos representados son:

Identificador	Elemento
1	Motor propulsor
2	Tanques almacenamiento HFO (4,5 % cont en Azufre)
3	Bancada motor propulsor
4	Tanque se servicio sist. Lubricación del cárter del motor propulsor
5	Tanque de lodos
6	Tanque de sentinas
7	Tomas de mar
8	Colector tomas de mar
9	Sala de control
10	Sala de bombas
11	Escalera de acceso desde cubierta principal a cámara de bombas
12	Cofferdam entre zona de carga y cámara de máquinas
13	Tanques auxiliares sistema lubricación cárter motor principal
14	Tanque almacenamiento HFO (1,5 % cont en Azufre)
15	Tanque almacenamiento HFO (0,1 % cont en Azufre)
16	Tanque de aguas negras
17	Tanque de aguas grises
18	Conducto de exhaustación del motor principal
19	Tanques de servicio diario de HFO del motor principal y auxiliares
20	Tanque de sedimentación de HFO
21	Tanque de servicio diario de HFO de calderas
22	Tanque de reboses y derrames de HFO
23	Tanque de servicio diario de MDO
24	Tanque almacén de MDO
25	Tanques de almacenamiento de aceite lubricante de camisas
26	Tanque de servicio de aceite lubricante de camisas
27	Tanque de aceite de motores auxiliares
28	Tanque auxiliar de MDO para arranque de un grupo generador
29	Motores auxiliares
30	Conductos de exhaustación de los motores auxiliares
31	Eje de transmisión intermedio
32	Eje de cola
33	Caldereta de gases de escape (motor principal)
34	Silenciador (motor principal)
35	Equipo apaga chispas (motor principal)
36	Local eléctrico de cámara de máquinas
37	Calderas principales
38	Escaleras de acceso desde la cubierta principal
39	Escalera de acceso desde el taller de cubierta
40	Acceso desde la superestructura del guardacalor y chimenea
41	Puerta de acceso al local del servo
42	Escaleras de comunicación entre plataformas
43	Montacargas de cámara de máquinas
44	Escotillas
45	Taller de cámara de máquinas



Identificador	Elemento
46	Purificadoras de HFO
47	Módulo de alimentación de los motores auxiliares
48	Módulo de alimentación del motor principal
49	Taller eléctrico
50	Módulos de alimentación de las calderas principales
51	Chumacera de apoyo
52	Compresores de aire
53	Botellas de aire comprimido
54	Turbobombas de carga
55	Turbinas de las bombas de carga
56	Eyectores de carga
57	Bomba de agotamiento de los tanques de carga
58	Bombas de lastre
59	Eyector de lastre
60	Accionadores bombas de lastre
61	Accionador bomba de agotamiento de los tanques de carga
62	Pañol eléctrico
63	Purificadora de aceite de cárter del motor principal
64	Generadores de agua dulce
65	Local contraincendios
66	Planta de tratamiento de aguas residuales
67	Separador de sentinas
68	Calentadores de agua de habilitación
69	Intercambiadores de calor del sistema de refrigeración central
70	Bombas de agua salada del sist. de refrigeración central
71	Bombas de agua dulce del sist. de refrigeración central
72	Sistema de potabilización de agua dulce
73	Bombas de sentinas
74	Bomba de lodos
75	Módulo de lubricación de los motores auxiliares
76	Pañol de maquinaria
77	Local equipos auxiliares de la planta de vapor
78	Bombas de alimentación de agua de calderas
79	Bombas sistema contraincendios de agua salada
80	Módulo de lubricación del motor principal
81	Enfriador de aceite
82	Condensadores de vapor
83	Aseos
84	Estaciones de potencia de sistemas hidráulicos de cubierta



5.8 Pesos y centro de gravedad del buque en rosca

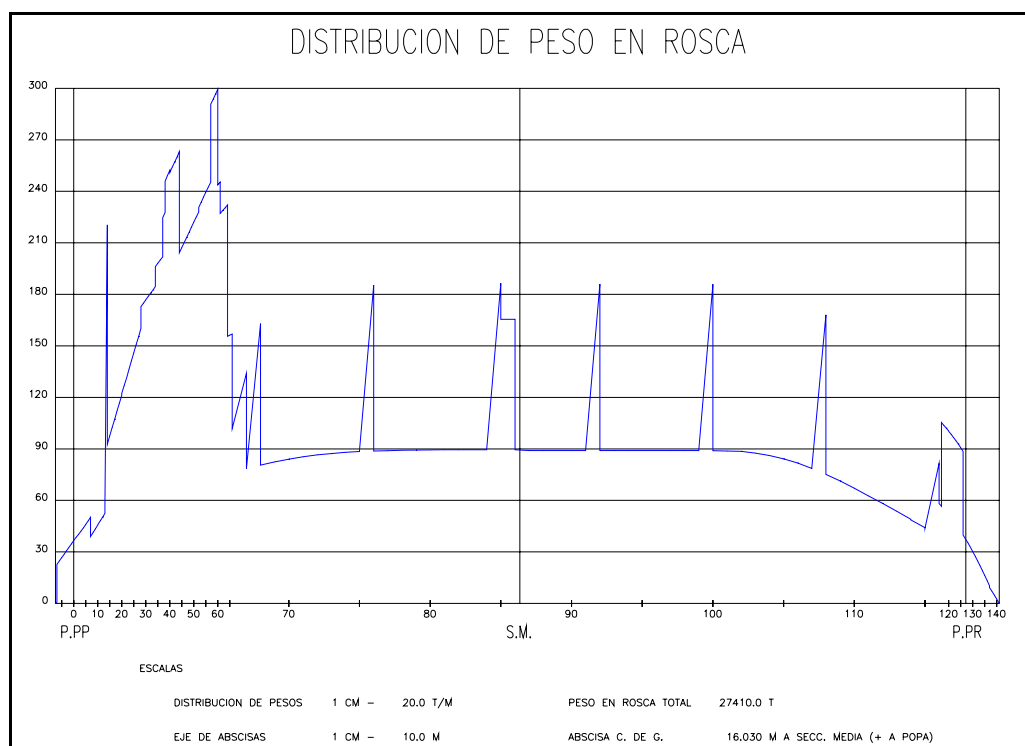
En este documento se ha calculado el peso en rosca del buque así como la posición de su centro de gravedad, para ello ha dividido este peso en tres partidas principales que son:

- Peso del acero
- Peso del equipo y habilitación
- Peso de la maquinaria

Los cálculos se han realizado en base a lo dispuesto en la referencia [18] dando como resultado:

Partida	Peso (t)	X _P (m)	Z _P (m)
Acero	22.365,97	124,31	13,49
Equipo y habilitación	2.522,91	107,52	27,71
Maquinaria	2.521,13	28,64	12,22
TOTAL	27.410,01	113,97	14,68

En cuanto a la distribución longitudinal de este peso, se ha hecho en base a la posición de los distintos elementos en el buque, para el acero longitudinal se ha usado la distribución recomendada por el Lloyds Register que está disponible dentro de las opciones del módulo LOAD de FORAN60. La distribución longitudinal del peso en rosca se muestra en el siguiente gráfico:





5.9 Situaciones de carga y condiciones de averías

Partiendo del peso en rosca (definido en el cuaderno anterior) y del peso muerto del buque se estudia el comportamiento del buque en las distintas condiciones de carga en las que puede encontrarse durante su operación.

En cada situación de carga se ha evaluado la estabilidad y la resistencia longitudinal cumpliendo con los requerimientos de la reglamentación (MARPOL) y de la sociedad de clasificación (CSR), para ello se ha hecho uso del módulo LOAD de FORAN60.

Las situaciones de carga consideradas son:

- Buque a plena carga - condición de salida (SC-0001)
- Buque a plena carga - condición de llegada (SC-0002)
- Buque en lastre - condición de salida (SC-0003)
- Buque en lastre - condición de llegada (SC-0004)
- Condición de lastre IMO (SC-0005)
- Buque en lastre - condición de salida con mal tiempo (SC-0006)
- Buque en lastre - condición de llegada con mal tiempo (SC-0007)

Un resumen de los resultados obtenidos en cada una de ellas es:

Condición de carga	Δ (t)	Peso muerto (t)	T med (m)	Trimado (m) *	GM _c (m)	KG (m)
0001 Plena carga salida	173.480,8	146.070,8	16,691	0,526	4,631	13,561
0002 Plena carga llegada	174.010,3	146.600,3	16,737	0,521	4,559	13,312
0003 Lastre salida	81.210,6	53.800,6	8,316	2,723	15,361	10,016
0004 Lastre llegada	82.372,7	54.962,6	8,430	2,813	15,227	9,989
0005 Lastre IMO	82.158,9	54.748,9	8,374	1,885	15,172	10,008
0006 Lastre mal tiempo salida	114.092,7	86.682,7	11,354	0,871	9,892	10,930
0006 Lastre mal tiempo llegada	109.546,1	82.136,1	10,906	0,117	10,274	10,842

* Todos los trimados son por popa.



Los parámetros de resistencia longitudinal que se utilizarán en el cuaderno 6 son:

Condición de carga	E. cortante máximo (+)	E. cortante máximo (-)	M. flector máximo (+)	M. flector máximo (-)
0001 Plena carga salida	2.123,72 t	-1.975,79 t	8.277,31 t m	-149.932,73 t m
0002 Plena carga llegada	2.171,71 t	-4.336,50 t	26.142,14 t m	-163.297,00 t m
0003 Lastre salida	7.527,56 t	-4.229,60 t	390.922,84 t m	-7,43 t m
0004 Lastre llegada	4.797,78 t	-4.102,47 t	356.686,10 t m	-6,79 t m
0005 Lastre IMO	4.039,86 t	-3.830,72 t	321.721,10 t m	-8,32 t m
0006 Lastre mal tiempo salida	8.939,87 t	-13.349,69 t	309.355,31 t m	-258.182,81 t m
0006 Lastre mal tiempo llegada	9.784,55 t	-13.033,04 t	231.249,14 t m	-353.180,70 t m

* Los valores positivos son en quebranto y los negativos en arrufo.

Además en este apartado también se realiza un estudio de la estabilidad después de averías, las cuales se definen en función de lo establecido por MARPOL a este respecto, las características de las averías que se deben considerar son:

	Avería en el costado	Avería en el fondo	
		A 0,3 L P. Proa	En cualquier otro sitio
Extensión longitudinal	13,58 m	13,58 m	5,00 m
Extensión transversal	9,40 m	7,83 m	5,00 m
Extensión vertical	Todo el puntal	3,13 m	3,13 m

Teniendo en cuenta estas averías y la disposición del buque, se han definido un total de 24 situaciones de avería, en las cuales se ha evaluado la estabilidad. En todas ellas se cumple con los requerimientos mínimos establecidos por la reglamentación.



5.10 Equipo y servicios

En este cuaderno se ha completado el equipamiento que debe ser instalado a bordo del buque proyecto. Gran parte de este equipo se definió ya en el cuaderno 7 de proyecto.

Para la definición y dimensionamiento de algunos de estos equipos es necesario cumplir ciertos reglamentos tanto relativos a la sociedad de clasificación como de MARPOL y sobre todo de SOLAS, en lo referente a equipos de salvamento y sistemas de contraincendios.

Los servicios que se definen en este apartado son:

- Servicios de casco
- Servicios de contraincendios
- Servicios de la carga
- Servicios de habilitación
- Servicios de navegación y comunicaciones
- Servicios de alumbrado

Con ello terminó de definir el equipamiento básico de un buque de estas características.



5.11 Planta eléctrica

Para la definición de la planta eléctrica se consideraron las siguientes condiciones de carga eléctrica:

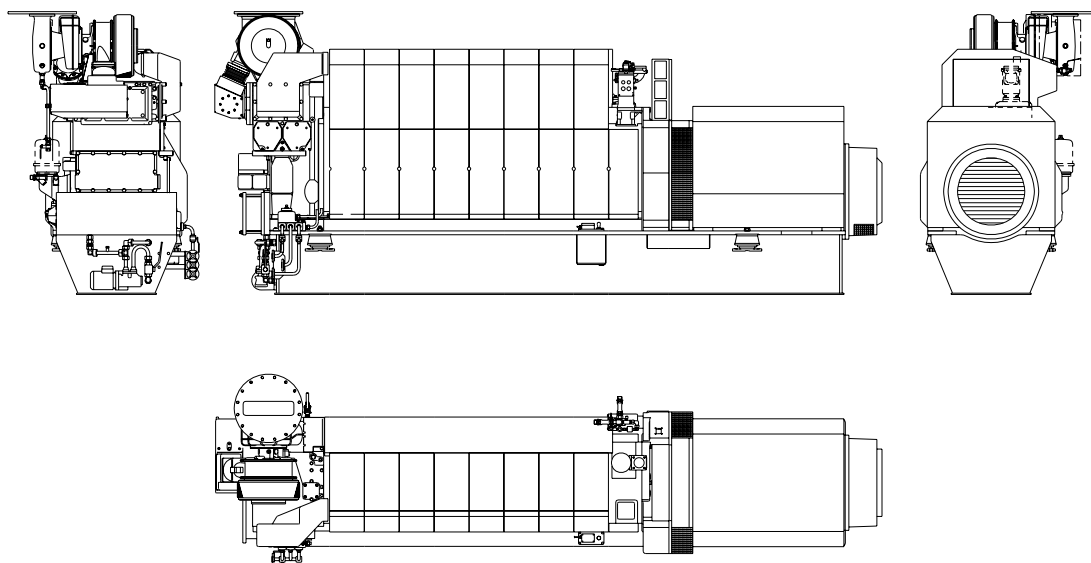
- **Navegación**: Es la situación más habitual del buque tanto a plena carga como en lastre. No se considera distinción entre la situación de navegación y la de navegación calentando carga, puesto que esta última supone una diferencia de consumo pequeña como consecuencia de la puesta en servicio de una de las calderas principales.
- **Carga/descarga de petróleo**: Ambas operaciones requieren una demanda eléctrica muy similar puesto que en ambas se utilizan las bombas de lastre (que es el mayor consumidor de esta situación).
- **Maniobra**: Es la operación de transición entre la de navegación y la de carga/descarga, se caracteriza porque se ponen en funcionamiento un gran número de equipos de casco y cubierta.
- **Estancia en puerto o fondeado**: Situación de mínimo consumo puesto que el buque no está realizando ninguna operación específica.
- **Emergencia**: Esta situación es independiente de cualquiera de las anteriores. Se considera en este caso que fallan todos los modos de generación de energía del buque excepto el generador de emergencia para mantener una serie de servicios esenciales operativos.

Todo ello considerando los consumidores de electricidad definidos en los cuadernos 7 y 10. Los resultados obtenidos en el balance eléctrico se resumen en la siguiente tabla:

Situación de carga	Consumo (kW)
Navegación	675,29
Carga / Descarga	1.407,32
Maniobra	787,20
Estancia en puerto	487,27
Emergencia	256,03

Para atender a estas necesidades de electricidad y tras analizar los equipos comerciales se decide optar por grupos generadores MAN modelo 8L16/24 con las siguientes características principales:

Potencia del motor diesel	880 kW
Potencia de salida del generador	835 kWe
Consumo de combustible	242,4 kg/h
Número de cilindros	8
Peso sin líquidos	12,4 t
Revoluciones	1.200 rpm
Presión media efectiva	22,4 bar



Se eligieron estos grupos de modo que en la situación de máxima potencia solo tengan que estar dos de ellos operativos, quedando siempre uno de ellos de respeto. En base a ello, el número de grupos que prestan servicio en cada situación de carga eléctrica y su régimen de funcionamiento se indica en el siguiente cuadro:

Situación de carga	Consumo (kW)	Número de grupos	Régimen
Navegación	675,29	1	80,9%
Carga / Descarga	1.407,32	2	84,3%
Maniobra	787,20	1	94,3%
Estancia en puerto	487,27	1	58,4%

Para la situación de emergencia, se selecciona un grupo generador VOLVO PENTA modelo TAD941GE con una potencia eléctrica de 303 kW que funcionará en esta situación de carga a un régimen del 84 %:





5.12 Presupuesto

La estimación del presupuesto del buque proyecto se ha realizado en base a lo dispuesto en la Referencia [28]. Para ello se ha dividido el presupuesto en una serie de partidas cuyos costes obtenidos se resumen en la siguiente tabla:

COSTES VARIOS	2.575.000 €
ESTRUCTURA	38.933.953 €
EQUIPO, ARMAMENTO E INSTALACIONES	11.371.911 €
MAQUINARIA AUXILIAR DE CUBIERTA	1.243.756 €
INSTALACIÓN PROPULSORA	10.688.820 €
MAQUINARIA AUXILIAR	4.803.604 €
CARGOS Y RESPETOS	414.459 €
INSTALACIONES ESPECIALES	2.799.661 €
TOTAL COSTE DE CONSTRUCCIÓN	72.831.164 €

Suponiendo un beneficio para el Astillero del 7 % y un impuesto sobre el valor añadido del 16 % el precio de mercado del buque es:

TOTAL COSTE DE CONSTRUCCIÓN	72.831.164 €
BENEFICIO ASTILLERO	5.098.181 €
PRECIO TOTAL DEL BUQUE	77.929.345 €
PRECIO DE MERCADO (16% I.V.A.)	90.398.041 €

Para hacer frente a este coste el armador podría utilizar los siguientes recursos:

- Fondos propios, por un valor del 20 % del coste total (18.079.608 €).
- El resto (72.318.433 €) es aportado con financiación externa, por medio de créditos a cambio de unas ciertas garantías que aporta la empresa compradora del buque.

Por último, durante la construcción del buque se establecen, contractualmente, una serie de hitos en referencia a los cuales al Armador va realizando los sucesivos pagos parciales. El período de construcción del buque proyecto se estima en 18 meses, a lo largo de los cuales se distribuyen los cinco pagos e hitos que se indican a continuación:



HITO	MES	PORCENTAJE	IMPORTE
Entrada en vigor	1	20 %	18.079.608 €
Comienzo elaboración	5	20 %	18.079.608 €
Puesta de quilla	9	20 %	18.079.608 €
Botadura	14	20 %	18.079.608 €
Entrega del buque	18	20 %	18.079.608 €



6 CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO

Como resultado de todo lo expuesto anteriormente se ha llegado a un buque con las siguientes características generales:

Eslora total	272,20 m	Motor propulsor	
Eslora perpendiculares	260,00 m	Fabricante	MAN & BW
Manga de trazado	47,00 m	Modelo	7 S70MC-C7
Puntal de trazado	24,40 m	MCR	21.770 kW
Calado de proyecto	16,80 m	Velocidad nominal	91 rpm
Calado de Francobordo	17,13 m	Propulsor	
Calado Escantillonado	17,80 m	Diámetro	8,20 m
C. bloque al T_{Proyecto}	0,830	Tipo	Paso fijo
Velocidad de servicio	15,2 nudos	Nº Palas	5
Capacidad de carga	170.900 m ³	Grupos generadores	
Capacidad de lastre	53.654 m ³	Número	3
Capacidad de HFO		Fabricante	MAN
4,5 % de azufre	2.345 m ³	Modelo	8L16/24
1,5 % de azufre	532 m ³	Potencia eléctrica	835 kWe
0,1 % de azufre	177 m ³	Generador emergencia	303 kWe
Capacidad de MDO	391 m ³	Calderas principales	
Capacidad agua dulce	882 m ³	Número	2
Capacidad de aceite lub.	375 m ³	Capacidad	42.000 kgv/h
Peso muerto proyecto	150.000 t	Presión de vapor	7 kgf/cm ²
Peso muerto escantillon.	158.744 t	Caldereta gases escape	
Peso en rosca	27.410 t	Capacidad	3.696 kgv/h
Arqueo bruto	81.155 GT	Presión de vapor	7 kgf/cm ²
Arqueo neto	43.993 NT	Sistema de amarre	
Tripulación	40 pers.	Número de líneas	18
Bombas de carga		Número maquinillas	7
Número	3	Potencia unitaria	35 kW
Capacidad	3.500 m ³ /h	Sistema de fondeo	
Presión	140 m.c.a	Molinetes	2 x 427 kW
Bombas de lastre		Anclas	2 x 16,9 t Hall
Número	2	Grúas de mangueras	
Capacidad	1.750 m ³ /h	Número	2
Presión	35 m.c.a	Capacidad	15 t / 17 m
Clasificación:			
Lloyd's Register ✕ 100 A1, Double Hull Oil Tanker, CSR, IWS, LI, LMC, SCM, UMS			



7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Durante el desarrollo de todo el proyecto se ha hecho uso de una serie de referencias bibliográficas, las cuales se enumeran a continuación:

- [1] Ricardo Alvariño Castro, Juan José Azpíroz y Manuel Meizoso..; *“El proyecto básico del buque mercante”*, Ed. Fondo Editorial de Ingeniería Naval; Pub. 2007.
- [2] Lamb, Thomas (Written by an international group of authorities); *“Ship design and construction”*, Ed. Society of Naval Architects and Marine Engineers; Pub 2004.
- [3] Holtrop, J. y Mennen G.G.J.; *“An approximate power prediction method”*, International Shipbuilding Progress; Pub 1982.
- [4] Antonio Vaquero; *“Teoría del buque. Lecciones de resistencia al avance”*, Departamento de Artes Gráficas E.T.S.I.N.; Edición 2002.
- [5] Antonio Vaquero; *“Teoría del buque. Introducción a la propulsión de buques”*, Departamento de Artes Gráficas E.T.S.I.N.; Edición 2005.
- [6] Capitán I.G. Reigadas; *“El buque tanque”*, Ediciones EDG; Pub 2004.
- [7] David G. M. Watson; *“Practical Ship Design”*, ELSEVIER OCEAN ENG. BOOK SERIES; Pub 1998.
- [8] Guillermo Ricardo Gadea; *“Los buques tanque y su clasificación”*, PETROTECNIA; Abril 2004.
- [9] M.A. Meizoso, J.L. Garcés; *“Apuntes de proyectos”*, Departamento de Artes Gráficas E.T.S.I.N.
- [10] G. Pérez; *“Teoría del buque (Máquinas) Tomo II-B”*, Departamento de Artes Gráficas E.T.S.I.N.
- [11] Antonio Baquero; *“Análisis de comportamiento del buque bajo la acción del timón. Aspectos hidrodinámicos y de proyecto”*, Tesis Doctoral; Canal de experiencias hidrodinámicas, el Pardo; Publicación núm. 66. Madrid, Noviembre de 1981.
- [12] Álvaro Zurita y Sáez de Navarrete; *“Introducción al diseño de cámara de máquinas”*, Sección de Publicaciones E.T.S.I.N.
- [13] K. Van Dokkum; *“Ship knowledge, a modern encyclopedia”*, Editorial Dokmar; Pub 2003.
- [14] Luis Ramón Núñez Rivas; Apuntes de clase de la asignatura “Instalaciones de vapor”, Año 2006.



- [15] Alfonso López de Asiaín Zabia; Apuntes de clase de la asignatura “Equipo y servicios”, Año 2004.
- [16] Amable López Piñeiro; *“Electricidad aplicada al buque – Diseño general de la planta eléctrica”*, Departamento de Artes Gráficas E.T.S.I.N; Pub 1999.
- [17] Amable López Piñeiro; *“Distribución eléctrica a bordo”*, Departamento de Artes Gráficas E.T.S.I.N; Pub 1999.
- [18] Manuel Meizoso Fernández y José Luis García Garcés. *“Desplazamiento. Cálculo iterativo del peso en rosca y el peso muerto”*, Departamento de publicaciones de la ETSIN; Pub Junio 2000.
- [19] Manuales de FORAN60.
- [20] *“Common Structural Rules for Double Hull Oil Tankers (CSR)”* publicadas por IACS y en vigor desde el 1 de Abril de 2006.
- [21] Lloyds Register of Shipping; *“Rules and Regulations for the Classification of Ships”*; Edición de 2007.
- [22] Convenio SOLAS, Edición consolidada 2004.
- [23] Convenio MARPOL 73/78/90 y enmiendas.
- [24] Convenio Internacional sobre Líneas de Carga de 66/88 (Edición revisada 2005).
- [25] Convenio Internacional de 23 de Junio de 1969, sobre Arqueo de Buques hecho en Londres. En vigor desde 18 de Julio de 1982.
- [26] Lloyd’s Register of Shipping; *Lloyd’s Register Information*; <http://www.lr.org>.
- [27] Base de datos de buques de Lloyd’s Register of Shipping; <http://www.sea-web.com>.
- [28] Jaime Torroja Méndez. *“Apuntes de proyectos. Volumen 1”*; Departamento de publicaciones de la ETSIN; Pub 1987.
- [29] *“Standards for Oil Tanker Manifolds and Associated Equipment”*, Oil Companies International Marine Forum (OCIMF). 3rd Edition 1981.
- [30] *“Recommendations for Equipment Employed in the Mooring or Ships at Single Point Moorings”*, Oil Companies International Marine Forum (OCIMF). 2nd Edition, 1988.
- [31] *“Shipping and shipbuilding markets. Annual Review 2009”*; Barry Rogliano Salles. Pub 2009.

PROYECTO 1.731
PETROLERO PARA CRUDO 150.000 TPM

CUADERNO 1

DIMENSIONAMIENTO



Tutor: D. Francisco Alonso Thous

Realizado por: José Antonio Durango Ramón



CONTENIDOS

1	INTRODUCCIÓN	2
2	NOMENCLATURA	3
3	ESPECIFICACIÓN TÉCNICA.....	4
4	ANÁLISIS DE LA ESPECIFICACIÓN	5
5	BÚSQUEDA DE BUQUES SIMILARES. BASE DE DATOS	8
6	BUQUE BASE	13
7	REGRESIONES Y RELACIONES.....	15
7.1	Relaciones dimensiones y parámetros principales Vs Peso muerto	15
7.2	Relaciones entre capacidades.....	18
7.3	Relaciones adimensionales Vs Peso Muerto y Capacidad de Carga.....	20
8	ESTABLECIMIENTO DE LOS LÍMITES DE LAS RELACIONES Y PARÁMETROS FUNDAMENTALES.....	21
9	GENERACIÓN DE ALTERNATIVAS	22
10	ESTIMACIÓN PARÁMETROS DE FORMAS DE CADA ALTERNATIVA.....	23
10.1	Coeficiente de bloque "Cb"	23
10.2	Coeficiente de la sección media "Cm"	23
10.3	Coeficiente prismático longitudinal "Cp"	24
10.4	Coeficiente de la flotación "Cwp"	24
10.5	Posición longitudinal del centro de carena "Xb"	24
10.6	Longitud del cuerpo cilíndrico "Lp".....	25
10.7	Semiángulo de entrada de la flotación "α"	25
10.8	Superficie mojada del casco "Sm"	25
11	ESTIMACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS OPERATIVAS DE CADA ALTERNATIVA	26
11.1	Potencia propulsora.....	26
11.2	Peso en rosca.....	26
11.3	Altura del centro de gravedad del peso en rosca KG_{WL}	28
11.4	Desplazamiento "Δ"	28
11.5	Desglose de peso muerto y su centro de gravedad	29
11.6	Capacidad de carga.....	30
11.7	Estabilidad inicial	30
11.8	Costes de construcción	31
12	CRITERIOS DE SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS	33
12.1	Relación L/D	33
12.2	Desplazamiento	33
12.3	Capacidad de carga.....	33
12.4	Estabilidad inicial en la condición de plena carga	33
13	ALTERNATIVA ÓPTIMA. CONCLUSIONES	34
14	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	35
ANEXO 1	ALTERNATIVAS GENERADAS Y PARÁMETROS ESTIMADOS.....	37
ANEXO 2	CARÁCTERÍSTICAS OPERATIVAS DE CADA ALTERNATIVA.....	43



1 INTRODUCCIÓN

En este primer documento se comenzará presentando la especificación entregada, analizando aquellos aspectos que son especialmente importantes en esta etapa inicial de proyecto.

Una vez analizado el tipo de buque a proyectar y sus principales exigencias y condicionantes, se presenta una base de datos de buques modernos del mismo tipo, similares en cuanto a capacidad de carga y peso muerto, y por tanto a dimensiones del buque proyecto.

Este conjunto de buques se usará como base de referencia y servirá para establecer un rango de variación de los principales parámetros de diseño, todo ello con el fin de generar un conjunto de alternativas de buques entre las que elegir una óptima que se ajuste lo máximo posible a las exigencias de la especificación entregada.

Con el conjunto de alternativas generadas se hallarán las características de operación más importantes de cada una de ellas a partir de diferentes expresiones encontradas en la bibliografía.

Con toda esta información se establecerán una serie de criterios de selección con el fin de eliminar aquellas alternativas que no se ajusten o cumplan con lo especificado. Con las alternativas finales que cumplan con todos los criterios, se elegirá aquella que a criterio del proyectista cumpla mejor con la especificación, explicando los motivos de elección en el punto 12 del presente documento.



2 NOMENCLATURA

Variable	Descripción (unidades)
R^2	Coefficiente de regresión
L	Eslora entre perpendiculares (m)
L_T	Eslora total (m)
L_{WT}	Eslora de la flotación (m)
B	Manga (m)
D	Puntal (m)
T	Calado (m)
F_n	Número de Froude
C_b	Coefficiente de bloque
C_m	Coefficiente de la maestra
C_p	Coefficiente prismático longitudinal
C_{wp}	Coefficiente de la flotación
X_b	Posición longitudinal del centro de carena
L_p	Longitud del cuerpo cilíndrico (% de L)
α	Semiángulo de entrada en la flotación
S_m	Superficie mojada del casco (m^2)
A_{BPr}	Área transversal del bulbo en la PPr (m^2)
BHP	Potencia de freno motor propulsor (HP)
W_{ST}	Peso del acero del buque (t)
W_{EH}	Peso del equipo y la habilitación (t)
W_{MQ}	Peso de la maquinaria (t)
W_{PM}	Peso muerto (t)
W_L	Peso en rosca (t)
Δ	Desplazamiento (t)
V_C	Volumen de carena (m^3)
ρ_{SW}	Densidad del agua salada (t/m^3)
ρ_C	Densidad del crudo a transportar (t/m^3)
KG_{ST}	Altura del c.d.g del peso de acero (m)
KG_{EH}	Altura del c.d.g del peso del equipo y habilitación (m)
KG_{MQ}	Altura del c.d.g del peso de la maquinaria (m)
KG_{WL}	Altura del c.d.g del peso en rosca (m)
KG_{PM}	Altura del c.d.g del peso muerto (m)
KG_{PC}	Altura del c.d.g buque a plena carga (m)
C_c	Capacidad de carga (m^3)
V_{Cub}	Volumen bajo la cubierta principal (m^3)
GM	Altura metacéntrica (m)
KM	Altura del metacentro desde la línea de base (m)
I_T	Momento de inercia transversal tanques carga (m^4)
TPM	Toneladas de peso muerto (t)



3 ESPECIFICACIÓN TÉCNICA

TIPO DE BUQUE	Petrolero para crudo, cubierta corrida, habilitación y cámara de máquinas a popa, proa y popa de bulbo, codaste abierto, timón tipo "Mariner", cofferdam entre tanques de combustible y mar. Posibilidad de operar atravesando el futuro canal de Panamá, en el mercado del Pacífico y/o Atlántico
CLASIFICACIÓN Y COTA	LR + 100 A1, D Hull Oil Tanker, CSR, IWS, LI, LMC, SCM, UMS
PESO MUERTO	150.000 TPM
PROPULSIÓN	Motor 2T lento directamente acoplado a hélice de paso fijo
VELOCIDAD	Velocidad a plena carga con motor al 90% y 15% margen de mar 15,2 nudos
CAPACIDADES	Capacidad de carga 170.000 m ³ en 12 tanques + 2 de derrames. Tanques de carga pintados (CSR y TOTAL) Capacidad de combustible 3.900 m ³
HABILITACIÓN	32 Cabinas individuales con baño privado 2 Cabinas dobles de reserva con baño privado y rancho para 6 personas
SISTEMA DE CARGA	3 Tubo-bombas 3.500 m ³ /h a 140 mca 2 Eyectores de 700 m ³ /h 1 Bomba de agotamiento a 140 mca 2 Electrobombas de 1.750 m ³ /h a 35 mca y un eyector de 400 m ³ /h a 35 mca para el sistema de lastre
MAQUINARIA AUXILIAR	3 Diesel generadores, 2 calderas principales, caldereta mixta de gases de escape y mecheros
AMARRE	18 líneas sobre carretel partido. Bitas alije (OCIMF, EXXON). Grúa mangueras (OCIMF, EXXON).



4 ANÁLISIS DE LA ESPECIFICACIÓN

Seguidamente se analizarán los aspectos de la especificación importantes en esta fase inicial de proyecto.

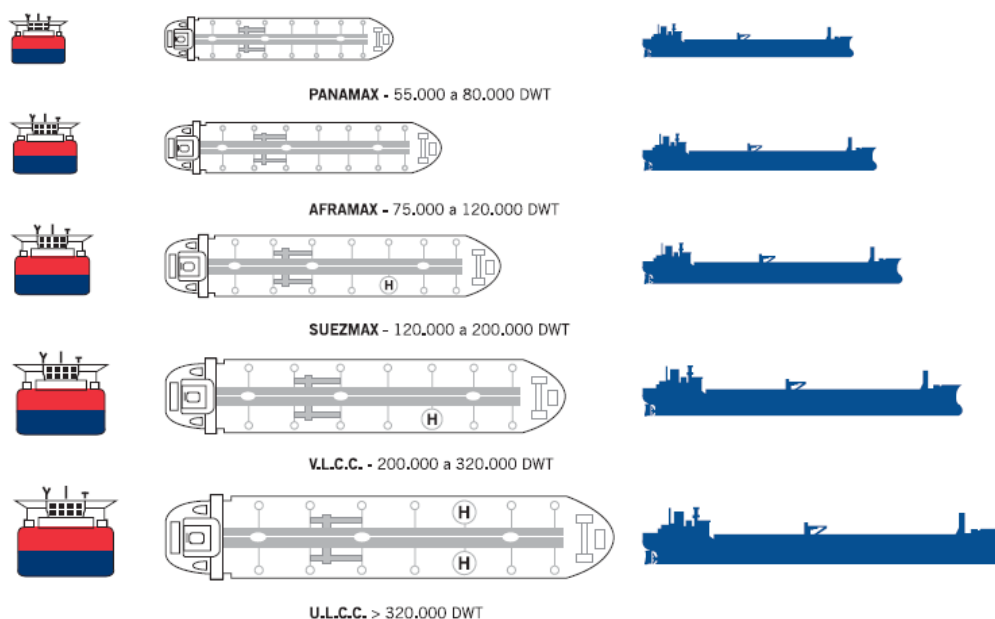
Tipo de buque

Este tipo de buque se usa para transportar petróleo crudo desde la terminal marítima del yacimiento hasta la refinería o, por razones logísticas, hasta la cabecera de un oleoducto. También pueden transportar derivados pesados como el Fuel Oil gracias a la posibilidad de calefactar la carga.

Estos buques se suelen agrupar según su capacidad de transporte e idoneidad para cada tráfico:

- Coastal Tanker (Costeros): Son buques de hasta 16.500 TPM usados en trayectos costeros o cortos.
- General Purpose Tanker (Multipropósito): Van desde 16.500 a 25.000 TPM, operan en diversos tráficos.
- Handy Size Tanker: Se trata de módulos de 25.000 a 30.000 TPM, Ejemplos de áreas de operación son el Caribe, costa Este de los Estados Unidos, Mediterráneo y Norte de Europa.
- Panamax: Con tonelajes entre los 55.000 y 80.000 TPM. Su nombre se debe a que originalmente las dimensiones de estos buques cumplían con las máximas permitidas para su tránsito por el Canal de Panamá (274 metros de eslora, 32 m de manga y 13 m de calado).
- Aframax: Derivados de la *Average Freight Rate Assessment*, se acepta un rango de entre 75.000 y 120.000 TPM. Sus tráficos habituales incluyen cargamentos entre puertos ubicados en áreas como el Caribe, el mar Mediterráneo o el Golfo Pérsico.
- Suemax: Sus módulos van desde las 120.000 hasta los 200.000 TPM. En sus orígenes su nombre estaba vinculado a que el módulo con su mayor carga cumplía con las máximas dimensiones permitidas para el tránsito por el canal de Suez, aunque hoy en día navegan por este canal buques de hasta 300.000 TPM.
- V.L.C.C. (Very Large Crude Carrier): Con pesos muertos desde 200.000 hasta 320.000 TPM. Por sus dimensiones se trata de buques que operan por lo general en terminales mar adentro.
- U.L.C.C. (Ultra Large Crude Carrier): Son todos aquellos cuya capacidad de carga supere las 320.000 TPM. Estos superpetroleros aparecen en el mercado a finales de los años '60. Debido a su gran tamaño son muy limitados para operar en aguas restringidas.

La siguiente imagen muestra una comparativa del tamaño de los tipos de petroleros más importantes:

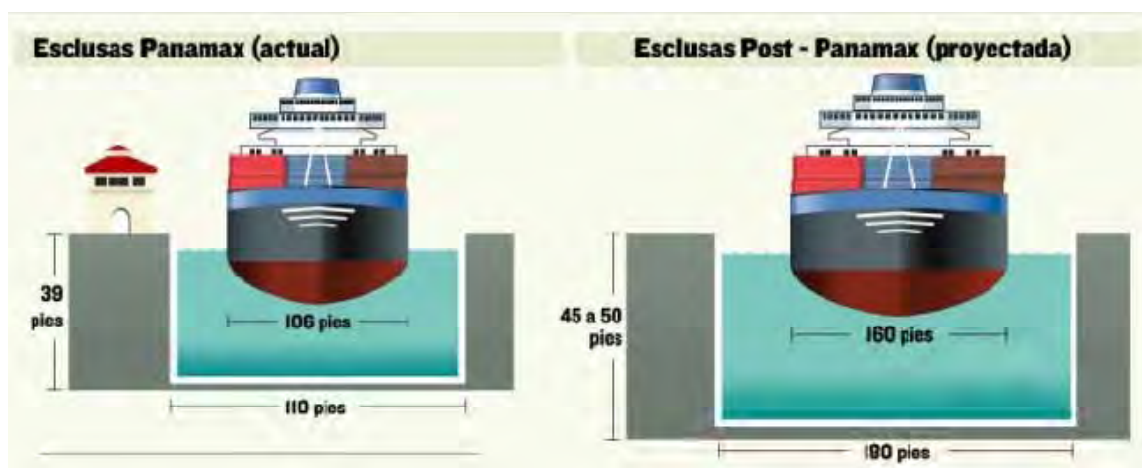


Una vez establecida esta clasificación para el tipo de buque a diseñar, es claro que por las toneladas de peso muerto requeridas en la especificación técnica (150.000), puede englobarse al buque proyecto en la categoría de Petroleros tipo Suezmax.

Capacidad de operar atravesando el futuro canal de Panamá

El tráfico marítimo mundial ha obligado a plantear una ampliación de esta importante vía cuya finalización se estima entre 2014 y 2015. Esta ampliación fue aprobada por referéndum en 2006 por Panamá.

La ampliación consistirá en un tercer juego de esclusas que aportarán una mayor capacidad de buques y además incrementará el tamaño de estos pasando de mangas máximas de 106 pies (32,3 metros) a 160 pies (48,8 metros). En la siguiente imagen se muestra una imagen comparativa entre la capacidad de buques actual y la futura del canal:





Por tanto un requisito importante en el dimensionamiento del buque será la manga que no podrá ser mayor de 48,8 metros

Clasificación y cota

En el pliego de condiciones se hace referencia a la siguiente cota de clasificación: LR ✕ 100 A1, D Hull Oil Tanker, CSR, IWS, LI, LMC, SCM, UMS, seguidamente se analizará cada uno de sus aspectos:

- LR: es el nombre de la sociedad de clasificación cuyo nombre completo es Lloyd's Register of Shipping.
- ✕: Es asignada cuando se clasifican construcciones nuevas bajo las normas LR's Special Survey.
- D Hull Oil Tanker: Designa el tipo de buque, especificando además que dispone de doble casco.
- CSR: Las llamadas *Common Structural Rules*, que son unas normas de clasificación que regulan aspectos fundamentalmente estructurales de petroleros de doble casco con esloras mayores o iguales a 150 metros. Estas normas han sido adoptadas por todos los miembros de IACS (*International Association of Classification Societies*) y están en vigor para todos los buques de este tipo contratados desde el 1 de Abril de 2006.
- IWS: Esta notación hace referencia al "control en el agua" se puede asignar a un buque que cumpla con los requisitos del LR aplicables a este respecto.
- LMC: Se asigna cuando la maquinaria propulsora y auxiliar se ha construido, instalado y probado bajo un control especial del LR y de acuerdo con sus reglas y regulaciones.
- SCM: Se refiere a la monitorización de las guardias nocturnas.
- UMS: Se asigna cuando la cámara de máquinas puede operar desatendida, indica que el equipo de control se ha arreglado, instalado y probado de acuerdo con las reglas del LR, o es equivalente.

El resto de aspectos de la especificación se irán analizando a medida que se avance en el desarrollo del proyecto.



5 BÚSQUEDA DE BUQUES SIMILARES. BASE DE DATOS

Como base de comparación se han buscado buques petroleros de crudo construidos recientemente, desde el año 1997 hasta la actualidad por lo que algunos buques que aparecerán en la base de datos pueden estar en fase de construcción o incluso bajo encargo pero sin comenzar las tareas de construcción.

El hecho de intentar buscar buques de reciente construcción permite llegar a conclusiones correctas cuando se comparen ciertos parámetros, ya que hay que tener muy en cuenta que en la industria naval se han ido modificando los métodos de construcción, las tendencias de diseño y la reglamentación.

El criterio de búsqueda además del año de construcción ha sido el peso muerto, el cual se ha limitado entre 140.000 y 160.000 toneladas.

Esta base de datos permitirá realizar una serie de relaciones que van a permitir establecer una primera estimación de los parámetros más importantes del buque proyecto, así como verificar los rangos entre los que se van a variar dichos parámetros para generar una serie de alternativas que sirvan para conseguir unas dimensiones óptimas del buque.

Adicionalmente la base de datos se utilizará para verificar y rectificar las expresiones estimativas de los distintos parámetros, las cuales se han encontrado en la bibliografía y que se describirán más adelante.

Con los criterios de búsqueda arriba señalados, se han encontrado un total de 155 buques, eliminando los buques gemelos que no aportan ninguna información adicional, la base de datos se ha reducido a 51 buques.

Los datos que se presentan de estos buques son los que se han considerado más interesantes para esta primera etapa de proyecto, no estando algunos de ellos disponibles para todos los buques.

Las unidades en las que se presentan los datos en las siguientes tablas son:

Capacidades	Metros cúbicos (m ³)
Pesos	Toneladas (t)
Longitudes	Metros (m)
Velocidad	Nudos (kn)
Potencia	Caballos de vapor (hp)

Cabe destacar varios puntos que son comunes para todos los buques de la base de datos:

- Todos ellos poseen doble casco, ya que es obligatorio
- Los motores principales son de dos tiempos
- La propulsión se hace mediante una hélice directamente acoplada al motor

Estos campos no se han incluido en las tablas que se adjuntan a continuación:



Tabla 1

Nombre del buque	Año	Class	Peso muerto	Desplazamiento	Eslora	Eslora pp.	Manga	Calado	Puntal	Velocidad serv.
ALDAWHA	1997-04	NV	153044		269,18	257,97	46,00	17,52	24,40	15,00
NORDIC HAWK	1997-10	NV	151475	174349	274,06	264,00	46,00	15,85	23,60	14,50
FRONT BRABANT	1998-01	AB	153152	175181	269,19	258,00	46,00	17,52	24,40	15,30
CAP JEAN	1998-05	AB	148000	171553	274,06	264,00	47,80	16,12	22,80	14,30
NORDIC FIGHTER	1998-05	NV	153328	175181	269,19	258,00	46,00	17,52	24,40	14,00
HELLESPONT TRIUMPH	1998-07	GL	157406	180021	274,10	264,00	48,00	16,82	23,20	14,90
MINDANAO	1998-07	AB	149999	173155	274,00	264,00	48,00	16,24	23,20	15,00
ASTRO CAPELLA	1998-11	NV	147998	182370	274,66	264,00	48,00	17,00	23,20	15,00
OKHA	1999-05	AB	157823	182370	274,00	264,00	48,00	16,00	23,20	15,20
GENMAR HORN	1999-06	NV	159475	182370	274,00	264,00	48,00	17,02	23,20	15,20
GENMAR PHOENIX	1999-08	NV	153015	175214	269,07	258,00	46,00	17,52	24,40	15,70
ATAULFO ALVES	2000-02	AB	152980	175181	272,75	258,00	46,00	17,52	24,40	15,00
GENMAR ARGUS	2000-05	NV	159901	182655	274,26	264,00	48,00	16,23	23,10	15,70
SAVEH	2000-05	NV	159758	182370	274,00	264,00	48,00	17,02	23,20	15,20
JAG LATEEF	2000-07	IR AB	147080	170360	274,23	264,01	47,79	16,02	22,80	14,62
OVERSEAS LONDON	2000-11	NV	152923	173748	269,19	258,00	46,00	17,50	24,40	15,20
SONANGOL KIZOMBA	2001-01	AB	159165	182369	274,00	264,00	48,00	17,02	23,20	15,20
ZALLAQ	2001-01	NV	153019	175181	269,18	258,00	46,00	17,52	24,40	14,00
NORDIC SPIRIT	2001-02	NV	151294	175491	274,30	264,00	48,00	16,42	23,60	15,20
POLAR ENDEAVOUR	2001-04	AB	141740	173509	272,69	258,16	46,20	17,52	26,30	16,55
AMORE MIO II	2001-06	NV	159981	182477	274,00	264,00	48,00	17,02	23,70	15,60
ELISEWIN	2002-07	LR	149991	171937	274,20	263,00	48,00	15,96	22,40	15,22
SCF VALDAI	2003-02	NV	159313	182617	274,48	264,00	48,00	17,05	23,10	15,40
CAPE BOWEN	2003-04	GL	159988	183045	274,00	264,00	48,00	17,05	23,20	
FOUR SUN	2003-06	AB	159999		274,00	264,00	48,00	16,00	23,20	15,20



Nombre del buque	Año	Class	Peso muerto	Desplazamiento	Eslora	Eslora pp.	Manga	Calado	Puntal	Velocidad serv.
SKS SENNE	2003-06	NV	159385	182655	274,20	264,00	48,00	16,00	23,10	15,70
NAVION STAVANGER	2003-08	NV	148729	173603	277,40	262,00	46,00	17,02	23,60	14,70
ASTRO CASSIOPEIA	2003-09	AB	159000		274,00	264,00	48,00	16,00	23,70	15,10
DA MING HU	2003-11	CC	159149	185978	274,80	265,00	48,00	17,30	24,00	15,10
ASTRO PHOENIX	2004-01	NV	159055	182655	274,07	264,00	48,00	17,05	23,10	
CAP PIERRE	2004-01	AB	159083	182732	274,30	264,00	48,00	17,03	23,20	
DESH SHAKTI	2004-02	LR IR	157957	182027	274,00	264,00	48,00	17,02	23,70	14,70
MONTE TOLEDO	2004-05	LR	150611	174500	274,20	263,00	48,00	16,00	22,40	15,20
ERVIKEN	2004-06	NV	152146	175508	274,57	264,00	48,00	16,40	23,60	15,20
OLYMPIC FUTURE	2004-08	AB	155039	179993	273,97	263,00	47,00	17,13	23,30	16,00
VALTAMED	2004-09	RI BV	158609		274,00	264,00	48,00	17,00	23,74	15,20
AUTHENTIC	2004-11	AB	150249	172719	274,20	263,00	48,00	16,00	22,40	15,40
OTTOMAN NOBILITY	2005-01	NV	152622	175181	269,19	258,00	46,00	16,20	24,40	15,00
HEATHER KNUTSEN	2005-03	NV	148644	173615	276,96	262,00	46,00	17,02	23,60	14,90
JAG LOK	2005-03	NV	158280	182623	274,19	264,00	48,00	17,05	23,10	15,80
NORDIC FREEDOM	2005-03	NV	159500		274,00	264,00	48,00	16,95	23,70	15,20
ENERGY SKIER	2005-05	NV	159089		274,47	264,00	48,04	17,07	23,10	15,70
TOLEDO SPIRIT	2005-07	NV	159342	181996	274,00	264,00	48,00	16,95	23,70	15,20
ICE EXPLORER	2006-09	LR	146427	169802	274,20	263,00	48,00	16,00	22,40	15,30
LENI P.	2007-01	NV	159233	182672	274,26	264,00	48,00	17,07	23,10	15,70
SONANGOL NAMIBE	2007-03	AB	158425	182016	274,00	264,00	48,00	16,90	23,70	15,00
CARP	2007-04	AB	159018	182680	274,29	264,00	48,00	17,02	23,20	15,20
SKS SEGURA	2007-09	NV	158784	182672	274,27	264,00	48,00	16,00	23,10	15,70
TOUR	2007-11	NV	158817	182617	274,47	264,00	48,00	17,07	23,10	
WALTZ	2008-04	LR	150096		274,20	263,00	48,00	16,00	22,40	15,80
APEX SPIRIT	2008-05	LR	159400		274,00	264,00	48,00	16,00	23,20	



Tabla 2

Nombre del buque	C. carga	C. Lastre	C. slop	C. comb.	GT	Potencia motor ppal	rpm m.p.	Tripulación	Hélice
ALDAWHA	170263	52000		3777	79779	20900	83		Fixed Pitch
NORDIC HAWK	162492	54383	3440	3254	80187	20685	91	25	Fixed Pitch
FRONT BRABANT	166384	51778	3880	4101	79633	22920			Fixed Pitch
CAP JEAN	168114	57591			81148	22920			Fixed Pitch
NORDIC FIGHTER	166385	51778	3880	4108	79669	20900	83	23	Fixed Pitch
HELLESPONT TRIUMPH	166684	54542	3197	4389	81565	22920	91		Fixed Pitch
MINDANAO	166685	54560	3196	4331	81265	22920	91	25	Fixed Pitch
ASTRO CAPELLA	169880	54550		4429	79714	22920	91	30	Fixed Pitch
OKHA	169865	54559		4238	81269	22920		25	Fixed Pitch
GENMAR HORN	166684	54555	3196	3828	81526	22938		26	Fixed Pitch
GENMAR PHOENIX	166394	52102	4088	3738	80058	22997	91		Fixed Pitch
ATAULFO ALVES	166392	53082		3889	80086	18822		21	Controllable Pitch
GENMAR ARGUS	167532	54189	3751	3738	81151	22997	91		Fixed Pitch
SAVEH	166683	54555	3197	4341	81479	22902	91	40	Fixed Pitch
JAG LATEEF	163420	56561	4162	4890	80870	20940	88	25	Fixed Pitch
OVERSEAS LONDON	166392	51788	3880	3915	79751	20900	83	24	Fixed Pitch
SONANGOL KIZOMBA	166684	55000	3197	4551	81230	22920			Fixed Pitch
ZALLAQ	166384	51778		3728	79812	20900	83	30	Fixed Pitch
NORDIC SPIRIT	168756	54000	4704	3850	83120	25319	91	22	Controllable Pitch
POLAR ENDEAVOUR	161229	60832		4504	85387	30030	127	18	Controllable Pitch
AMORE MIO II	171232	58590	3350	4088	83616	22921	91	16	Fixed Pitch
ELISEWIN	163918	56651	6060	4131	78845	22379	94		Fixed Pitch
SCF VALDAI	167930	54687	3801	4085	81085	25671	91	24	Fixed Pitch
CAPE BOWEN	167261	54592	4730		81310	23517	91	21	Fixed Pitch
FOUR SUN	167232	54604	4730		81236	22920	91		Fixed Pitch



Nombre del buque	C. carga	C. Lastre	C. slop	C. comb.	GT	Potencia motor ppal	rpm m.p.	Tripulación	Hélice
SKS SENNE	167532	55540	3756	4253	81270	25370	91	21	Fixed Pitch
NAVION STAVANGER	159527	52529	4938	3812	81141	22923	91	21	Controllable Pitch
ASTRO CASSIOPEIA	174000	58140			82982	25320	91		Fixed Pitch
DA MING HU	179600	50300	3488	3815	84855	22923	91		Fixed Pitch
ASTRO PHOENIX	174845	53300			80620	25320	91		Fixed Pitch
CAP PIERRE	167260	54587	2365	4351	81328	25320	91		Fixed Pitch
DESH SHAKTI	167811	58696	3350	4039	84261	19986	87	44	Fixed Pitch
MONTE TOLEDO	166700	17213			78896	22352	97		Fixed Pitch
ERVIKEN	168756	54000	4704		82647	25320	87		Fixed Pitch
OLYMPIC FUTURE	165075	54237	6534	4185	80591	25329	91	26	Fixed Pitch
VALTAMED	171089	58000			83669	20630	91		Fixed Pitch
AUTHENTIC	170000			4137	78922	22352	94		Fixed Pitch
OTTOMAN NOBILITY	166392	51788	3880		79903	25680	91		Fixed Pitch
HEATHER KNUITSEN	154597	52409	4939	3791	80918	22920	91		Controllable Pitch
JAG LOK	171755	54227			81396	25320	91		Fixed Pitch
NORDIC FREEDOM	171089	58000			83724	22920	91		Fixed Pitch
ENERGY SKIER	167972	54800	3724	4200	81345	25680	91		Fixed Pitch
TOLEDO SPIRIT	167809	58076	3282	3933	83594	22920	88		Fixed Pitch
ICE EXPLORER	156886	55392	6060	3894	77636	24459	92		Fixed Pitch
LENI P.	167986	54233	3769	4514	81339	25320	91		Fixed Pitch
SONANGOL NAMIBE	167811	57368	3282	4362	83469	22922	91		Fixed Pitch
CARP	167262	54620	4730	4326	81324	23246	91		Fixed Pitch
SKS SEGURA	167531	55580	3756	4514	81380	25320	91		Fixed Pitch
TOUR	167931	54687	3801		81295	22922	91		Fixed Pitch
WALTZ					78809	22352	94		Fixed Pitch
APEX SPIRIT					81732	25370	91		Fixed Pitch



6 BUQUE BASE

El buque adoptado como buque base es el BRITISH HARRIER un petrolero de crudo tipo Suezmax construido en Corea por el Astillero Samsung Heavy Industries que fue entregado a su armador, BP shipping, en 1997.

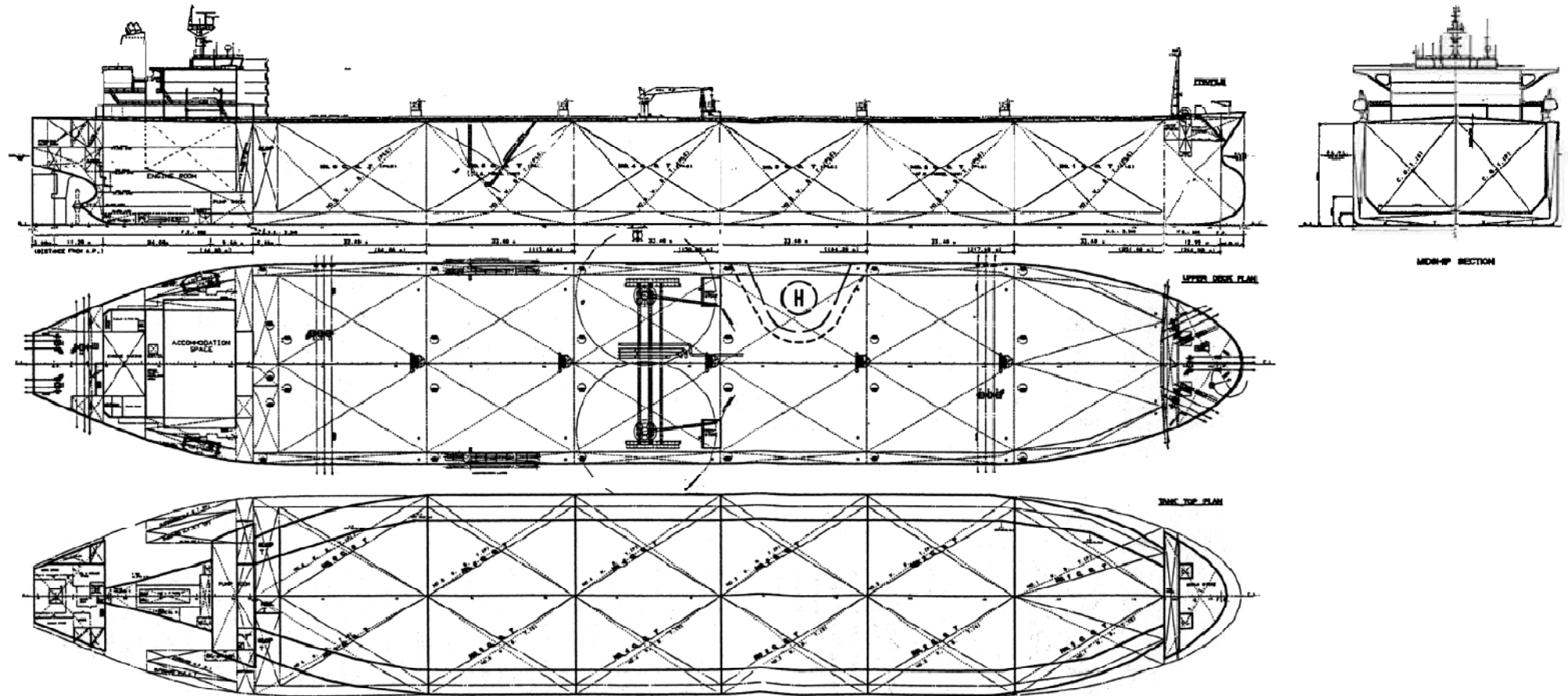


No es un buque muy moderno y no cumple las CSR, pero se ha adoptado como buque base debido al alto número de parámetros que de él se conocen, además de que es un buque con muchas características en común con el buque a proyectar, como se verá en la tabla de características que se adjunta a continuación.

La disposición general de este buque es similar a la que tendrá el buque a proyectar, con 12 tanques de carga y 3 de derrames, cubierta corrida, habitación y cámara de máquinas a popa, además también tiene proa y popa de bulbo, timón tipo "Mariner". En resumen un buque muy similar al que se pretende proyectar.

Eslora total	274,10 m	Tanques de carga	12
Eslora entre pp	264,00 m	Tanques de derrames	3
Manga	46,00 m	Segregaciones	3
Puntal	23,60 m	Anchura doble casco	2,55 m
Calado proyecto	15,85 m	Altura doble fondo	2,80 m
Calado escant.	17,02 m	Tanques de lastre	12 + 2 piques
Velocidad servicio	14,50 kn	Capacidad de lastre	54.000 m ³
Peso en rosca	22.900 t	Capacidad HFO	3.400 m ³
% Acero HT	38	Capacidad MDO	200 m ³
TPM calado proy.	138.200 t	Capacidad bombas c.	3 x 3.700 m ³ /h
TPM calado escant.	151.200 t	Potencia motor prop	15.220 kW
Capacidad de carga	170.000 m ³	Capacidad generadores	3 x 870 kW
Registro bruto	82.000 GT	Calderas	2 x 35 t/h
Tripulación	39	Diámetro hélice	8.000 mm
Grúas	2x15 t/10 m	r.p.m. helice-motor	91

Seguidamente se adjunta la disposición general del BRITISH HARRIER



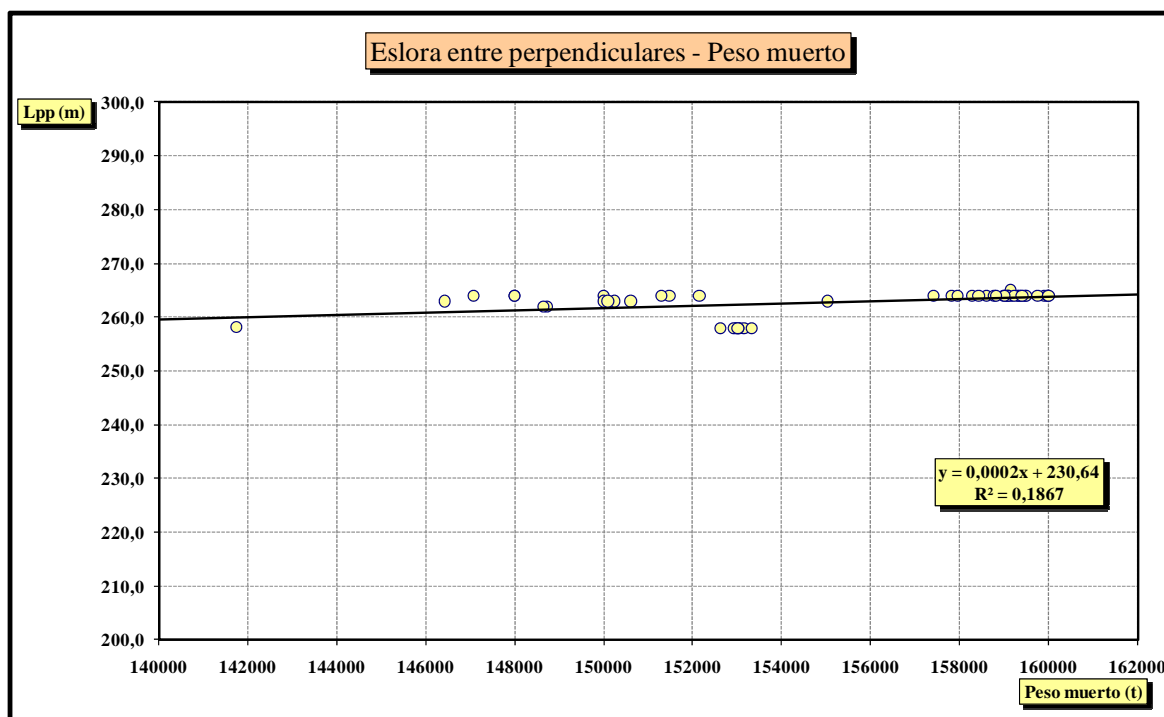


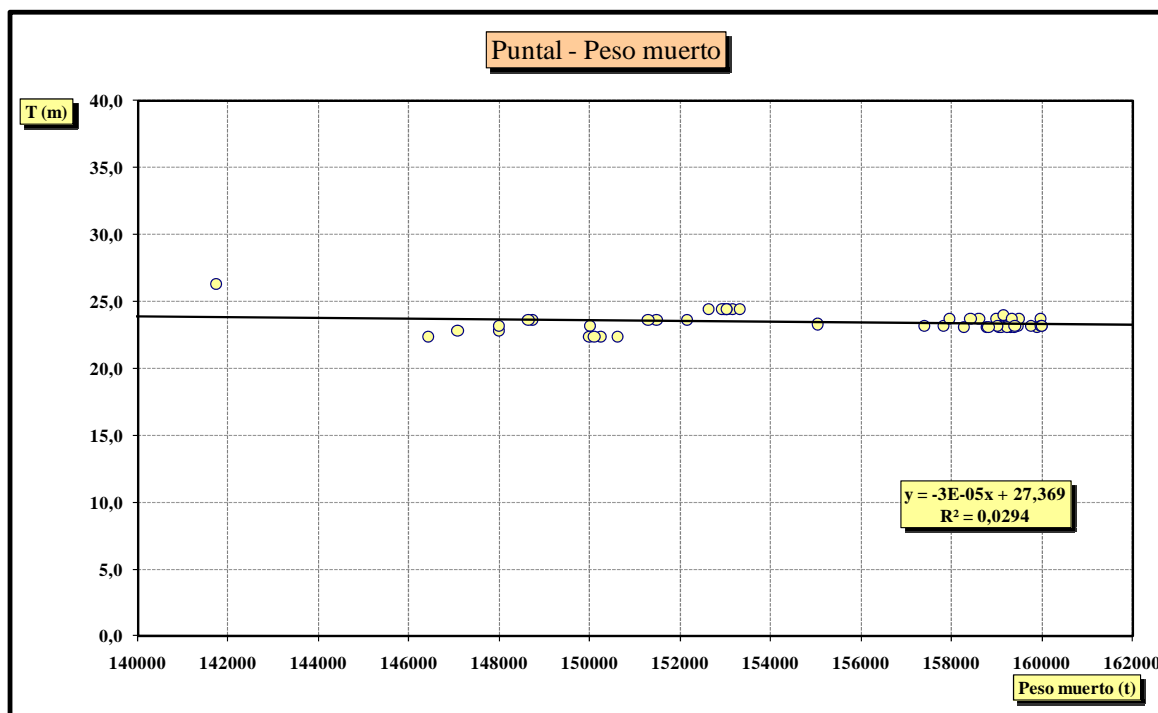
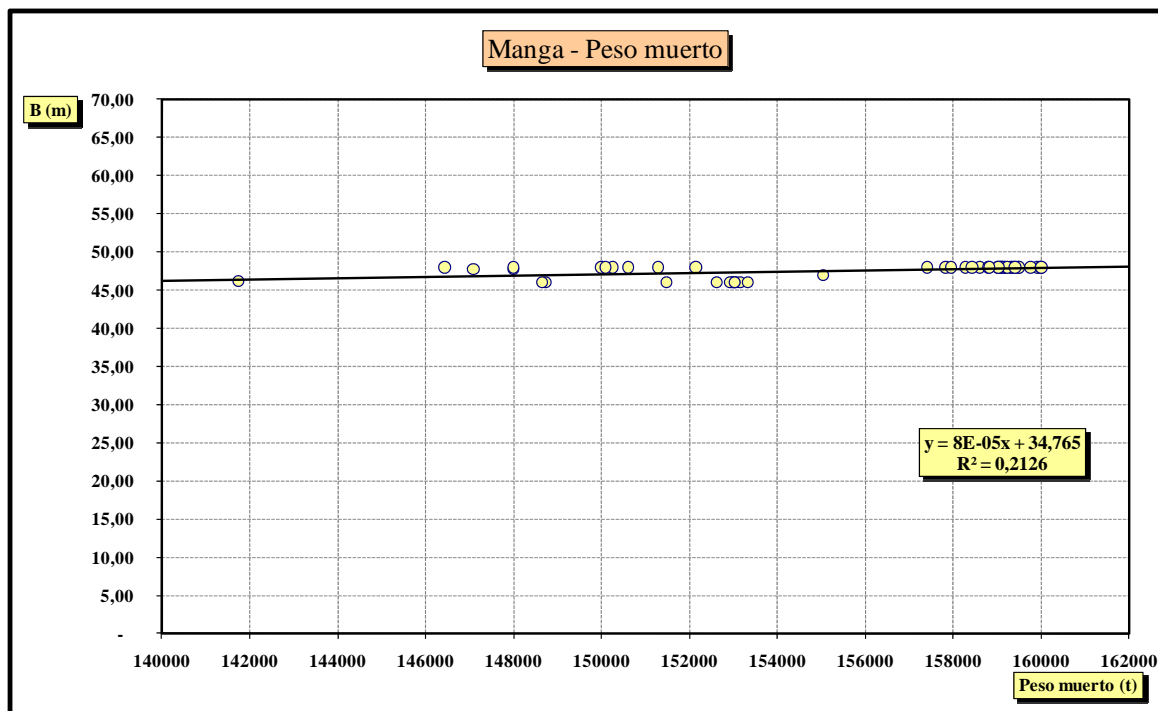
7 REGRESIONES Y RELACIONES

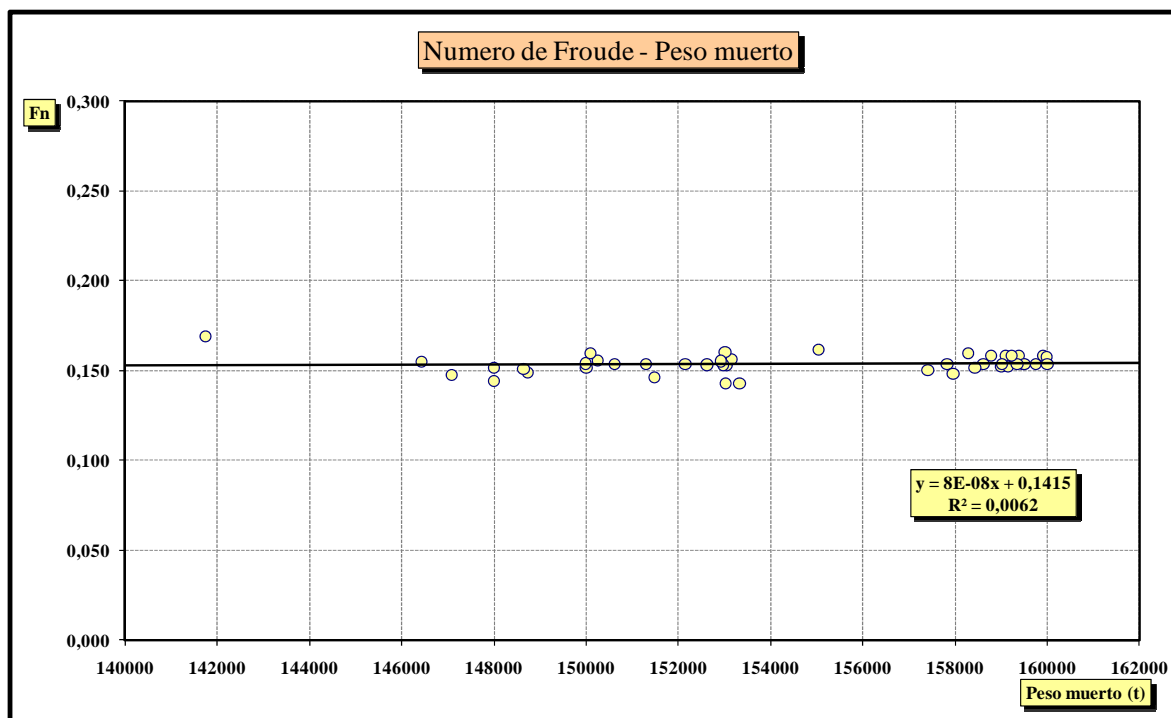
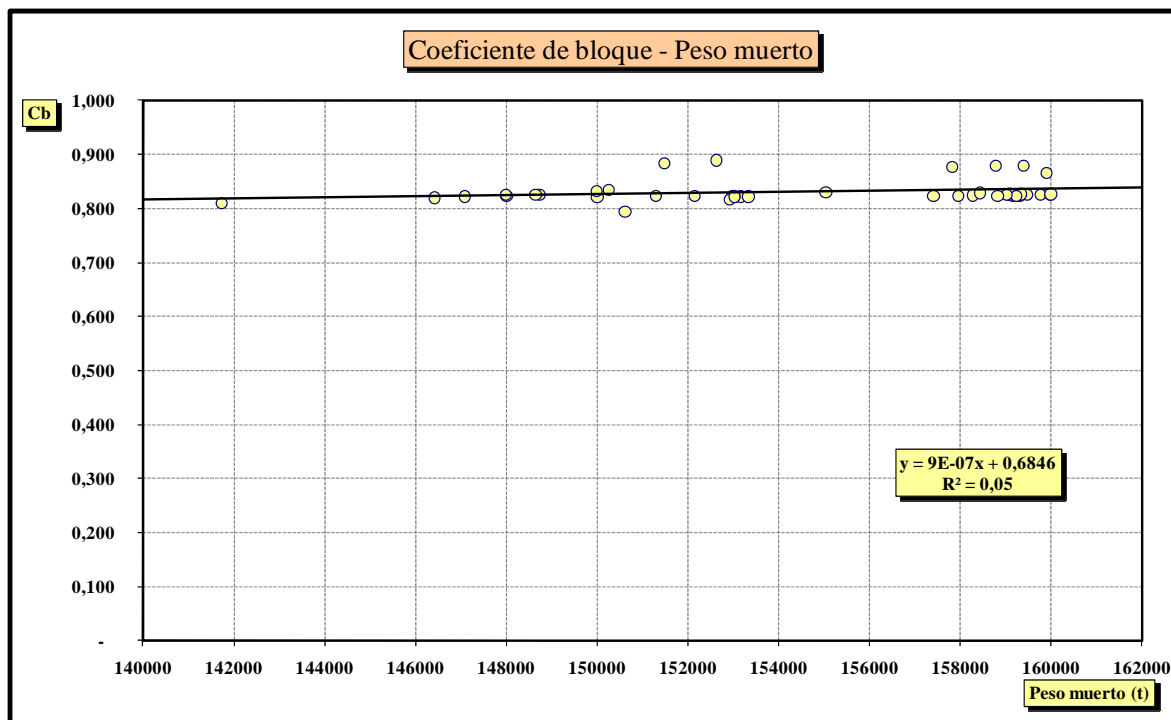
En base a todos estos datos se ha realizado una serie de relaciones y regresiones de los parámetros más importantes de estos buques, con ello, se pretende obtener información sobre los rangos de variación de los parámetros fundamentales para poder generar una serie de alternativas entre las que seleccionar una que cumpla con todos los requisitos que se impondrán más adelante.

Seguidamente se presentan aquellas relaciones que se han considerado más significativas, todas ellas se han ajustado a través de una regresión lineal indicando en cada gráfico el coeficiente de regresión correspondiente " R^2 ".

7.1 Relaciones dimensiones y parámetros principales Vs Peso muerto

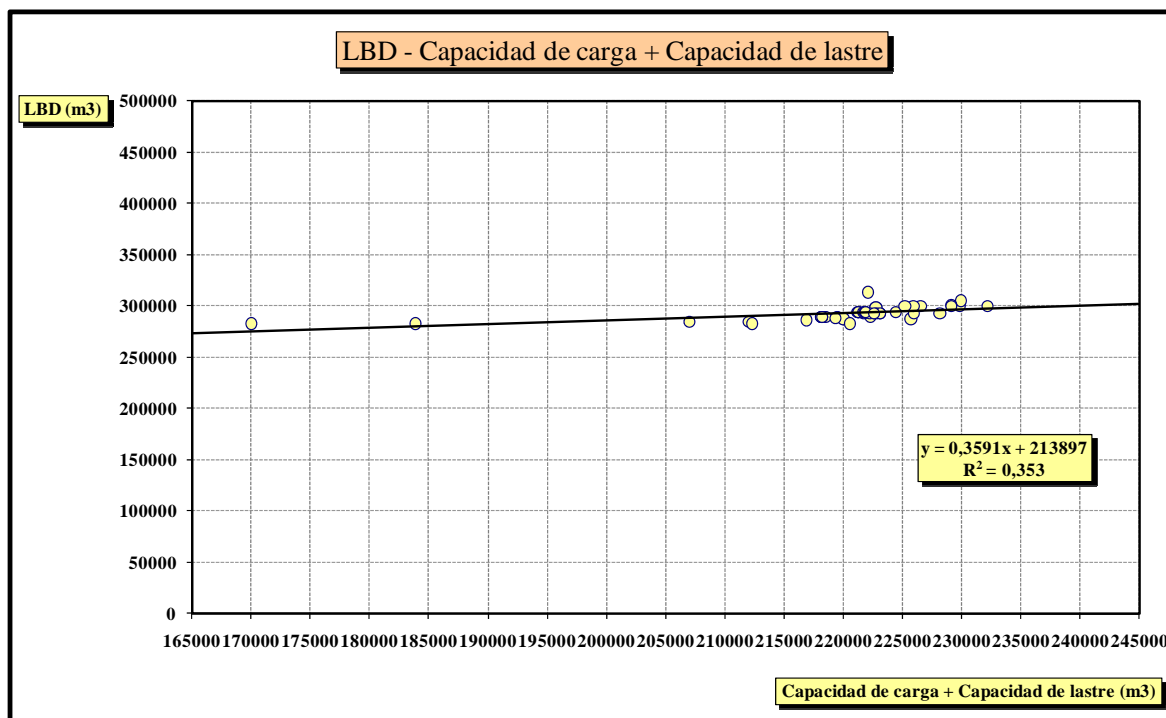
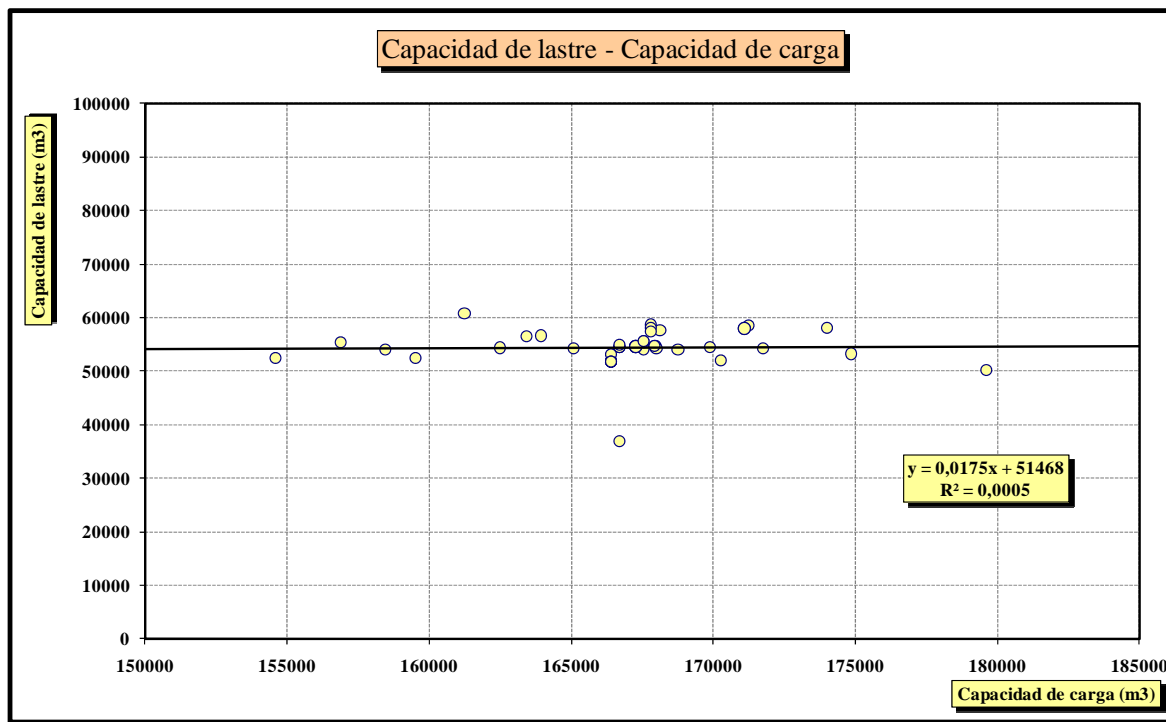


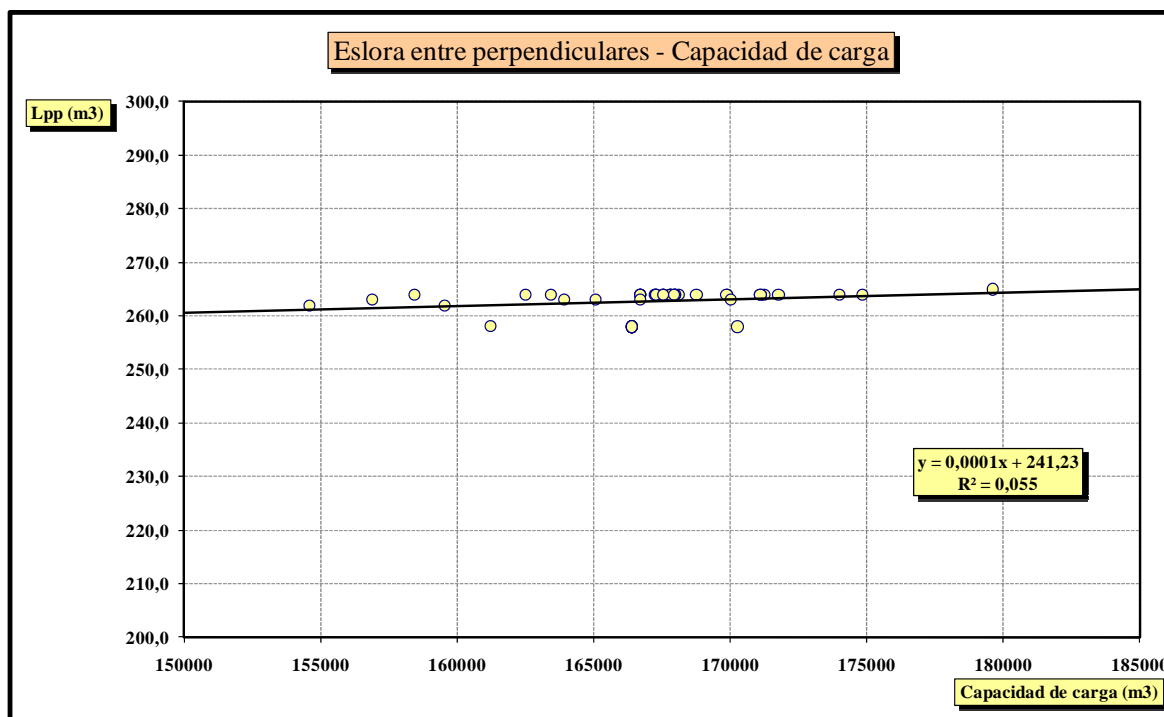
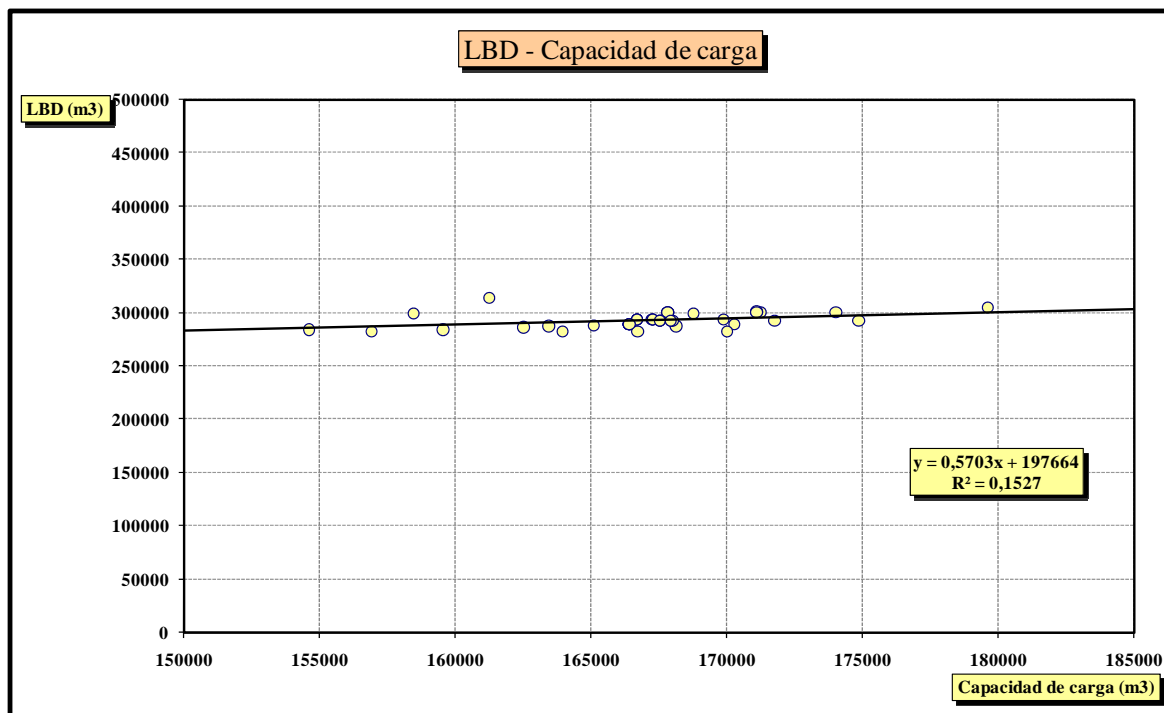






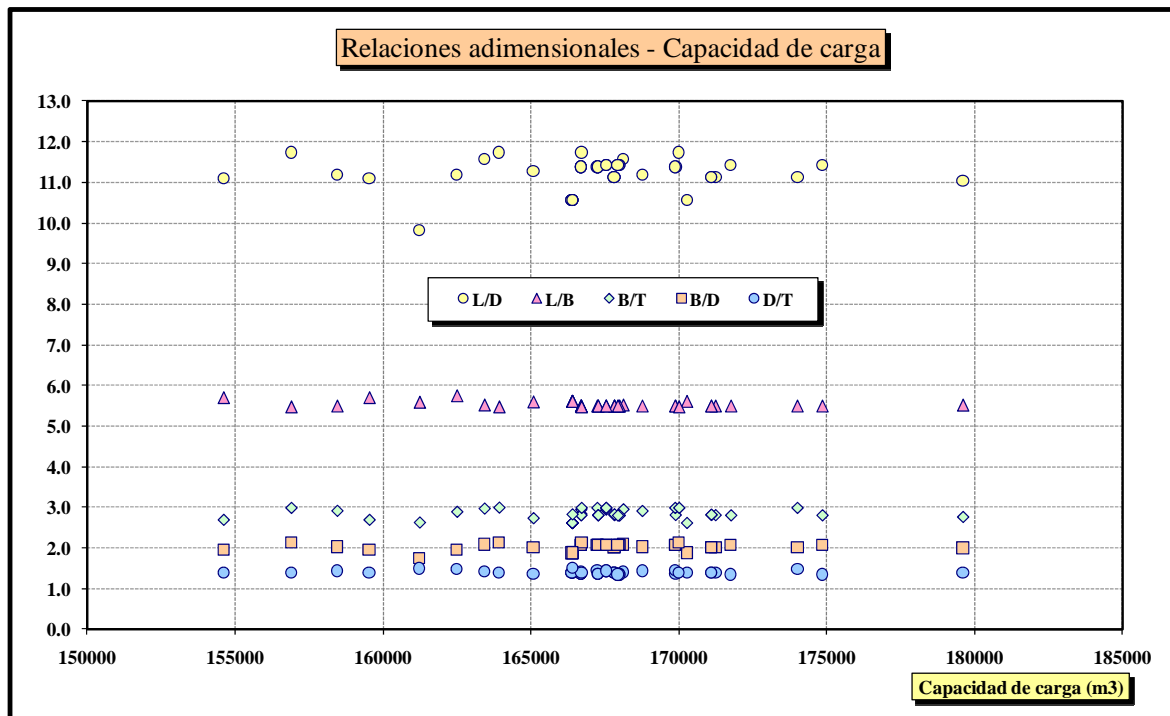
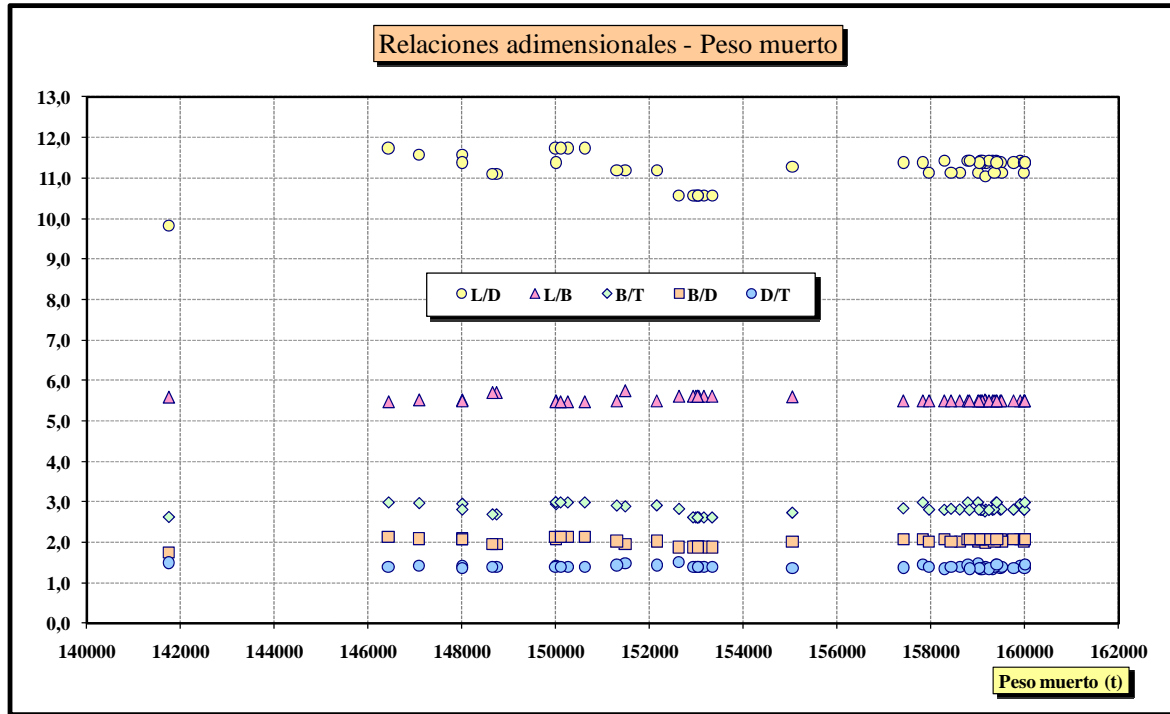
7.2 Relaciones entre capacidades







7.3 Relaciones dimensionales Vs Peso Muerto y Capacidad de Carga





8 ESTABLECIMIENTO DE LOS LÍMITES DE LAS RELACIONES Y PARÁMETROS FUNDAMENTALES

La limitación más importante de este buque, a parte del peso muerto y la capacidad de carga especificados, es que debe poder operar atravesando el futuro canal de Panamá, el cual está siendo reformado para que tenga capacidad de dar servicio a buques más grandes, esta condición limita la manga a un valor máximo de 48,8 metros.

Con las regresiones de los buques de la base de datos y de los márgenes indicados en las referencias bibliográficas [1] y [2] se han establecido los siguientes intervalos en las distintas relaciones adimensionales:

Relación adimensional	Valor mínimo	Valor máximo	Media base de datos
L/B	5,43	5,85	5,53
B/D	1,92	2,13	2,03
T/D	0,69	0,74	0,71
L/D	10,50	11,60	11,21
B/T	2,60	3,00	2,84
Fn	0,143	0,160	0,1539



9 GENERACIÓN DE ALTERNATIVAS

Teniendo en cuenta la limitación de la manga a 48,8 metros se han generado una serie de alternativas tomando como valor superior el valor límite y dando saltos hacia atrás de 0,6 metros hasta un valor de 45,8 metros que es un valor más pequeño que el mínimo de las mangas de los buques usados como base de comparación.

El siguiente parámetro utilizado para la obtención de las alternativas de proyecto ha sido la relación L/B variándolo en el intervalo [5,43;5,83] con saltos de 0,10 unidades. El último parámetro que se ha tomado es la relación B/D, la cual se ha variado desde 1,92 hasta 2,12 con saltos de 0,05 unidades.

Con lo cual se han obtenido las variables L, B, D de diferentes alternativas variando los parámetros arriba indicados y obteniendo todas las combinaciones posibles. Un resumen de los valores utilizados se presenta a continuación:

B	L/B	B/D
48,8	5,43	1,92
48,2	5,53	1,97
47,6	5,63	2,02
47,0	5,73	2,07
46,4	5,83	2,12
45,8		

Por tanto se han obtenido un total de 150 alternativas, de las cuales se tiene su manga (B), eslora entre perpendiculares (L) y puntal (D). Para estimar el calado de cada una se utilizará la relación $T/D = 0,688$ que es la media de la base de datos de buques de referencia.

En el siguiente punto se presentarán las expresiones que se han utilizado para estimar los diferentes coeficientes de formas de cada alternativa. Todas las alternativas generadas se presentan en el Anexo 1 del presente documento.

Con toda esta información se establecerán una serie de criterios de selección y se tomará la decisión sobre que alternativa es la más conveniente para las especificaciones del buque proyecto.



10 ESTIMACIÓN PARÁMETROS DE FORMAS DE CADA ALTERNATIVA

En este punto se han utilizado expresiones para la obtención de coeficientes de formas de la carena de cada alternativa, los cuales sirven para el proyecto de ésta. Los parámetros obtenidos para cada alternativa se presentan en el Anexo 1 en forma de tabla.

La mayoría de las expresiones se han obtenido de las referencias [1] “*El proyecto básico del buque mercante*” y [2] “*Ship design and construction*” enumeradas en el punto 14 “REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS” del presente documento.

10.1 Coeficiente de bloque “Cb”

Este parámetro es fundamental para representar las formas del buque, tiene un incidencia muy grande sobre la resistencia a la marcha y sobre la capacidad de carga, y en menor medida, sobre la estabilidad, maniobrabilidad, etc.

Para la obtención del coeficiente de bloque existen varias fórmulas que definen un valor adecuado del mismo en función de la velocidad, tipo de buque y de algunas dimensiones principales, fundamentalmente la eslora. Para obtener el óptimo de cada alternativa se utilizarán una serie de expresiones afectadas de un coeficiente corrector obtenido de la base de datos de buques similares. Con los diferentes valores obtenidos se hará la media aritmética y se obtendrá así un valor de “Cb” para cada alternativa.

Las expresiones utilizadas y los coeficientes correctores obtenidos para cada una se presentan a continuación:

Nombre	Expresión	Coeficiente corrector
Townsin	$C_b = 0,7 + 0,125 \operatorname{atan}(25 (0,23 - F_n))$	0,994
Schneekluth	$\frac{0,23}{F_n^{2/3}} \cdot \frac{\frac{L}{B} + 20}{26}$	1,057
Katsoulis	$0,813483 \cdot L^{0,4200} \cdot B^{-0,3042} \cdot T^{0,1721} \cdot V^{-0,6135}$	1,053
Kerlen	$1,179 - 2,079 \cdot F_n$	0,958

10.2 Coeficiente de la sección media “Cm”

Este coeficiente influye sobre la resistencia a la marcha de la carena y describe en cierto modo la zona curva del casco en el pantoque. Las siguientes expresiones son



válidas para para buques de carga y relacionan “Cm” con el coeficiente de bloque en base a consideraciones hidrodinámicas:

Nombre	Expresión
Kerlen	$C_m = 1,006 - 0,0056 \cdot C_b^{-3,56}$
HSVA	$C_m = \frac{1}{1 + (1 - C_b)^{3,5}}$

10.3 Coeficiente prismático longitudinal “Cp”

Este parámetro se define como el cociente entre el coeficiente de bloque y el coeficiente de la sección media:

$$C_p = \frac{C_b}{C_m}$$

Por tanto, se puede obtener facilmente a partir de los otros dos coeficientes.

10.4 Coeficiente de la flotación “Cwp”

Una vez llegados a este punto, el coeficiente de la flotación en carga está ya en gran medida condicionado, pero puede variarse algo por medio del grado U/V de las secciones transversales. Este coeficiente tiene cierta influencia sobre la resistencia hidrodinámica y la estabilidad inicial y puede estimarse por las siguientes expresiones:

Nombre	Expresión
Schneekluth	$C_{wp} = \frac{1 + 2 \cdot C_b}{3}$
J. Torroja	$C_{wp} = 0,2627 + 0,7675 \cdot C_b$

10.5 Posición longitudinal del centro de carena “Xb”

Este parámetro debe determinarse en base a consideraciones hidrodinámicas y de trimados del buque en las distintas condiciones de carga. Para cada carena existe un valor óptimo de Xb pero es difícil alcanzarlo en todas las condiciones de operación del buque, por lo que frecuentemente se recurre a un valor de compromiso entre los distintos condicionantes.



Por otra parte, existe un margen bastante amplio en el valor de X_b , dentro del cual su repercusión sobre la resistencia al avance es pequeña, lo que facilita la elección del X_b a los dos aspectos, trimado y propulsión.

El valor de X_b se expresa en porcentaje de la eslora entre perpendiculares, respecto a la sección media, con valores positivos a proa de la misma. Las expresiones utilizadas para estimar el valor óptimo de este parámetro son:

Nombre	Expresión
L. Troost	$X_b = 17,5 \cdot C_p - 12,5$
J. Torroja	$X_b = -2,55 + 3,37 \cdot C_p^{-4,67} - 17,667 \cdot F_n^{5,36} - 0,29 \cdot C_b^{-13} \cdot F_n$

10.6 Longitud del cuerpo cilíndrico “ L_p ”

Este factor depende del “llenado” de las formas y tiene interés en relación con los costes de fabricación del casco, los cuales son menores cuanto mayor sea este cuerpo, la siguiente expresión da valores recomendados para L_p en base a consideraciones hidrodinámicas:

$$L_p = -655 + 1,607 \cdot C_b - 914 \cdot C_b^2$$

Al igual que el parámetro anterior, L_p se expresa como porcentaje de la eslora entre perpendiculares.

10.7 Semiángulo de entrada de la flotación “ α ”

Este parámetro es muy importante en la resistencia al avance de la carena y se puede estimar a través de la siguiente expresión:

$$\alpha = 125,67 \cdot \frac{B}{L} + 162,25 \cdot C_p^2 - 17,667 \cdot F_n^{5,36} + 234,32 \cdot C_p^3 + 0,1551 \cdot X_b^3$$

10.8 Superficie mojada del casco “ S_m ”

La superficie mojada del casco es un parámetro fundamental para estimar la potencia propulsora, se puede aproximar por la siguiente fórmula, la cual tiene en cuenta las dimensiones y coeficientes de carena de cada alternativa:

$$S = L_{WT} \cdot (2 \cdot T + B) \cdot C_m^{0,5} \cdot \left(0,453 + 0,4425 \cdot C_b - 0,2862 \cdot C_m - 0,003467 \cdot \frac{B}{T} + 0,3696 \cdot C_{wp} \right) + 2,38 \cdot \frac{A_{BPr}}{C_b}$$



11 ESTIMACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS OPERATIVAS DE CADA ALTERNATIVA

Una vez establecidas las dimensiones y parámetros de formas de cada alternativa se pasará a estimar las características de operación de cada una de ellas. Las características que se analizarán por considerarse las más importantes en esta etapa, son las siguientes:

- Potencia propulsora necesaria para navegar a la velocidad de servicio especificada al calado de proyecto (15,2 nudos)
- Peso en rosca
- Altura del centro de gravedad del peso en rosca
- Desplazamiento
- Capacidad de carga
- Estabilidad inicial

Con esta información se establecerán una serie de criterios de selección y se elegirá en función de ellos la alternativa más adecuada en base a las especificaciones entregadas para el buque proyecto.

Los valores obtenidos para cada alternativa de todos estos parámetros se presentan en el Anexo 2 del presente documento.

11.1 Potencia propulsora

Para realizar una estimación preliminar de la potencia propulsora necesaria a la velocidad de servicio (15,2 nudos con motor al 90% y 15% de margen de mar) se ha utilizado el método de J. Holtrop & G.G.J. Mennen, el cual utiliza las dimensiones principales y varios parámetros de formas de la carena.

Aquellos parámetros que todavía no se conocen en esta fase de proyecto y que son necesarios para la aplicación de este método se han estimado en base a formas de buques similares.

Aunque este procedimiento para el cálculo de la potencia permite calcularla para una amplia gama de velocidades, en este documento solo se ha estimado para la velocidad de servicio, con el fin de obtener un valor máximo de la potencia necesaria y poder hacer una estimación de la potencia instalada del buque, dato que será necesario posteriormente en la estimación del peso en rosca.

Los valores obtenidos para cada alternativa se presentan en la primera columna de la tabla del Anexo 2.

11.2 Peso en rosca

Este apartado es sumamente importante en esta fase de proyecto, es muy importante una correcta evaluación de este factor, evitando errores iniciales, cuya corrección posterior es difícil y costosa.



El peso en rosca está condicionado por muchos factores que no es posible conocer en esta fase de proyecto, por lo tanto es necesario utilizar métodos que exijan pocos datos del buque para permitir una evaluación aceptable, todas las expresiones se han obtenido de la referencia [1] “*El proyecto básico del buque mercante*”.

En la base de comparación adoptada figuran algunos pesos en rosca, estos datos se utilizarán para contrastar el método empleado, deduciendo de esta manera un coeficiente de experiencia a aplicar al resultado obtenido por el método de cálculo del peso en rosca.

Para la estimación del peso en rosca, se dividirá éste en tres partidas que son las siguientes:

- Peso de la estructura de acero
- Peso del equipo y la habilitación
- Peso de la maquinaria

Seguidamente se describe cada una de ellas:

1. Peso de la estructura de acero

El peso total del acero en petroleros con doble fondo y doble casco, incluyendo superestructuras y casetas, con extensión estándar de acero de alta resistencia y un coeficiente de bloque normal, se puede estimar por la siguiente fórmula:

$$W_{ST} = 0,0658 \cdot L^{1,7} \cdot B^{0,102} \cdot D^{0,886}$$

Esta expresión se ha deducido en base a los datos de buques de este tipo con pesos muertos entre 45.000 y 300.000 toneladas.

Debido a que el buque proyecto debe cumplir con una nueva normativa, las “*Common Structural rules (CSR)*”, las cuales afectan principalmente a la estructura del buque y por tanto al peso del acero, no es recomendable aplicar expresiones basadas en buques ya contruidos que no cumplen con esta normativa. Al no disponer de datos sobre la influencia de estas nuevas reglas sobre el peso del acero, se adoptará un criterio pesimista y se incrementará en un 5% el valor obtenido por esta expresión.

2. Peso del equipo y la habilitación

El peso en toneladas del equipo y la habilitación se puede estimar a través de la fórmula:

$$W_{EH} = 0,045 \cdot L^{1,3} \cdot B^{0,8} \cdot D^{0,3}$$

3. Peso de la maquinaria

Se ha calculado mediante la siguiente expresión:

$$W_{MQ} = \frac{BHP}{0,7457} \cdot \frac{895 - 0,0025 \cdot \frac{BHP}{0,7457}}{10.000}$$



Por tanto el peso en rosca de cada alternativa será la suma de las tres partidas. Al aplicar estas expresiones a los buques de la base de datos y comparar el resultado con su valor real de peso en rosca se ha obtenido un factor corrector (como media de factores correctores) igual a 0,9122, por tanto el peso en rosca de cada alternativa se ha calculado como:

$$W_L = 0,9122 \cdot (W_{ST} + W_{EH} + W_{MQ})$$

11.3 Altura del centro de gravedad del peso en rosca KG_{WL}

Para determinar con exactitud la posición del centro de gravedad es necesario realizar un cálculo detallado de pesos y momentos de los distintos grupos en que se subdivide el peso en rosca, lo que es solo posible en una fase avanzada del proyecto. En esta fase inicial, la altura del centro de gravedad se estimará mediante una serie de expresiones que se indican a continuación:

1. Altura del c.d.g. de la estructura de acero " KG_{WST} "

$$KG_{WST} = \left(48 + 0,15 \cdot (0,85 - Cb) \cdot \left(\frac{L}{D} \right)^2 + \frac{0,8}{100} \cdot \left| 6,5 - \frac{L}{B} \right| \right) \cdot \frac{D}{100}$$

2. Altura del c.d.g. del equipo y la habilitación " KG_{WEH} "

$$KG_{WEH} = D + 2,5$$

3. Altura del c.d.g. de la estructura de acero " KG_{WMQ} "

$$KG_{WMQ} = 0,17 \cdot T + 0,36 \cdot D$$

Todas estas expresiones se han obtenido de la referencia [1] citada en el punto "14 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS" del presente documento. El centro de gravedad del peso en rosca será por tanto:

$$KG_{WL} = \frac{W_{ST} \cdot KG_{WST} + W_{EH} \cdot KG_{EH} + W_{MQ} \cdot KG_{MQ}}{W_L}$$

11.4 Desplazamiento " Δ "

El desplazamiento se ha calculado de dos maneras diferentes como se indica seguidamente:

Método 1 " Δ_1 "

Se calcula el desplazamiento a través del volumen de carena que a su vez se calcula con la eslora entre perpendiculares, manga, calado (proyecto) y coeficiente de bloque:

$$\Delta_1 = V_c \cdot \rho_{SW} = L \cdot B \cdot T \cdot Cb \cdot \rho_{SW}$$



Método 2 “ Δ_2 ”

Este segundo método se basa en calcular el desplazamiento del buque sumando el peso muerto requerido en la especificación, 150 000 toneladas, al peso en rosca obtenido a través de las expresiones descritas en el punto 10.2, por tanto, la expresión queda:

$$\Delta_2 = W_L + W_{PM}$$

11.5 Desglose de peso muerto y su centro de gravedad

Es importante realizar una estimación del centro de gravedad del peso muerto, este dato se utilizará para obtener una primera aproximación de la estabilidad inicial de cada alternativa en el punto 11.7 “Estabilidad inicial”.

En la referencia [2] se da un desglose de consumibles típico para buques petroleros de este tipo (Suezmax), el cual se presenta a continuación:

Partida	Peso (toneladas)	KGs
Fuel Oil	4.000	$0,78 \cdot D$
Diesel Oil	360	$0,14 \cdot D$
Agua dulce	440	$0,10 \cdot D$
Varios incluido aceite lubricante	350	$0,35 \cdot D$
Carga	144.850	$\frac{D - 2,8}{2} + 2,8$

El peso de la carga se ha obtenido como diferencia entre el peso muerto especificado (150.000 t) y el peso de los consumibles. Además, teniendo en cuenta la capacidad de carga especificada (170.000 m³) la densidad máxima del crudo a transportar es de unas 0,85 t/m³.

Las alturas de los centros de gravedad de las diferentes partidas se han estimado como se expresa en la columna KGs de la tabla anterior. Estos valores se han deducido de los valores conocidos de buques similares.

La partida más importante es la de la carga, para situar la altura del centro de gravedad de cada alternativa se ha supuesto una altura común de doble fondo de 2,8 metros en todas las alternativas, por lo que el centro de gravedad estará en la mitad del espacio comprendido entre el techo del doble fondo y la cubierta principal.

Con ello se puede calcular la altura del centro de gravedad del peso muerto “KG_{PM}”, que junto con la altura del centro de gravedad del peso en rosca “KG_{WL}” permite calcular la altura del centro de gravedad del buque en la condición de plena carga “KG_{PC}”. Todos estos valores se indican en la tabla del Anexo 2.



11.6 Capacidad de carga

La capacidad de carga es un parámetro fundamental en el diseño de esta clase de buques. Para estimar este parámetro se ha hecho uso de la información de los buques de la base de comparación adoptada y se ha calculado a través de dos métodos.

Con las capacidades de carga obtenidas por cada uno de estos métodos se ha hecho la media aritmética con el fin de obtener un dato lo más preciso posible. Seguidamente se presenta cada uno de estos métodos.

Método 1 “Cc₁”

En el primer método se ha estimado el volumen bajo la cubierta principal de cada alternativa con la siguiente expresión:

$$V_{\text{Cub}} = \frac{\Delta}{\rho_{\text{SW}}} + L \cdot B \cdot C_{\text{WP}} \cdot (D - T)$$

El desplazamiento se ha estimado como media de los desplazamientos Δ_1 y Δ_2 calculados en el punto anterior. Una vez hecho esto, se ha calculado este volumen para cada buque de la base de datos y se ha comparado con su capacidad de carga para obtener el porcentaje de este volumen que se destina a carga, se ha hecho la media de estos porcentajes y se ha obtenido una relación de 0,674022772, por tanto la capacidad de carga de cada alternativa viene dada por la expresión:

$$Cc_1 = V_{\text{Cub}} \cdot 0,674022772$$

Método 2 “Cc₂”

En este segundo método la capacidad de carga se ha calculado como porcentaje de la relación LBD, obteniendo un coeficiente de la base de comparación de 0,57120359, la expresión a utilizar es la siguiente:

$$Cc_2 = L \cdot B \cdot D \cdot 0,57120359$$

En la tabla del Anexo 2 se presenta la capacidad de carga como valor medio de Cc_1 y Cc_2

11.7 Estabilidad inicial

La estabilidad inicial del buque en una situación de carga se define por el valor de la altura metacéntrica “GM”, definida como:

$$GM = KM - KG$$

Siendo KM y KG las alturas del metacentro y del centro de gravedad del buque respectivamente en una situación de carga determinada. En esta fase de proyecto solo se tienen datos sobre la condición de plena carga y ésta será la que se calcule para estimar la estabilidad inicial.



Para estimar el valor de KM se va a utilizar la Fórmula de Schneekluth:

$$KM = B \cdot \left(\frac{3 \cdot Cwp}{1 + \frac{2 \cdot Cb}{\sqrt{Cm}}} \cdot \frac{0.08 \cdot B}{\sqrt{Cm} \cdot T} + \frac{0.9 - 0.3 \cdot Cm - 0.1 \cdot Cb}{\frac{B}{T}} \right)$$

El valor de KG para la situación de plena carga “KG_{PC}” se obtuvo en el punto 11.5; con lo cual, ya se puede obtener el valor de GM para cada alternativa.

Este valor obtenido debe corregirse para tener en cuenta el efecto de las superficies libres de los tanques tanto de consumo como de carga:

- Tanques de consumo: Debido al número y variedad de estos tanques, en las primeras fases del proyecto no se puede calcular con precisión el efecto de sus superficies libres, y por otra parte, su influencia sobre la estabilidad no es grande por lo que se considerará que la disminución de la altura metacéntrica inicial debida a la superficie libre de estos tanques puede estimarse en un 6% de la manga.
- Tanques de carga: El efecto de las superficies libres de estos tanques si que es muy importante en esta clase de buques, por loque se debe estimar con más precisión calculando el momento de inercia transversal de las superficies libres. La disminución de la altura metácentrica “GM” se expresa por:

$$dGM = \frac{\frac{1}{\rho_c} \cdot I_T}{\Delta}$$

Siendo I_T el momento de inercia transversal del conjunto de los tanques de carga que se ha estimado como la inercia del rectángulo circunscrito al conjunto de los tanques de carga multiplicada por 0,85 (referencia [1])

Con todo ello ya se puede calcular el valor corregido de la altura metacéntrica “GM_{PC}” de cada alternativa para la situación de plena carga, estos valores se presentan en la tabla del Anexo 2.

11.8 Costes de construcción

Para hacer una estimación de los costes de construcción de cada alternativa, se ha hecho uso de una expresión de la referencia [9] indicada en el punto “14. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS”. La expresión en cuestión es la siguiente:

$$Cc = tps \cdot WS + CEC + cep \cdot PB + chf \cdot nch \cdot NT + cpe \cdot tps \cdot PEr + cva \cdot Cc$$

Donde:

- Cc: Coste de construcción de la alternativa (€)
- tps: Coste unitario del acero montado (2.500 €)
- WS: Peso de acero (tons)



- CEC: Coste de manipulación y contención de la carga (1.500.000 €)
- Cep: Coeficiente del coste de propulsión y maquinaria auxiliar (300 €/kW)
- PB: Potencia total instalada (kW)
- chf: Coste unitario de la tripulación (42.000 €/tripulante)
- nch: Nivel de calidad de la habilitación (1.05)
- NT: Número de tripulantes (32 + 4)
- cpe: Coeficiente de comparación de costes (1,28)
- PE: Peso del equipo restante (tons)
- Cva: Coeficiente de costes varios aplicados

Los valores de los distintos parámetros que intervienen en la fórmula se han estimado. Aunque el método no es muy preciso, sí que sirve como “índice de coste” proporcionando unos valores que pueden compararse entre las diferentes alternativas.

Por tanto el coste de construcción más bajo puede ser uno de los criterios a establecer en la selección de la alternativa de proyecto óptima entre todas las generadas.



12 CRITERIOS DE SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

Con toda la información generada en el punto anterior se van a establecer una serie de criterios para seleccionar de entre todas las alternativas generadas, aquella que cumpla de mejor forma con todos los requerimientos del proyecto.

Para ello, en cada una de las columnas de la tabla presentada en el Anexo 2 se ha coloreado de un color los valores de los parámetros que no se encuentran dentro de los límites establecidos. Además, en la columna “Alternativas” se han señalado en negro aquellas alternativas que no cumplen con alguno de los criterios que se presentan a continuación:

12.1 Relación L/D

Lo primero es seleccionar aquellas alternativas que queden dentro del intervalo establecido en el punto 8 de la relación L/D que es $[10,50;11,60]$, ya que en la generación de alternativas no se tuvo en cuenta esta relación.

Los valores que no cumplen con esta condición se han coloreado en verde.

12.2 Desplazamiento

Una vez determinado el desplazamiento por dos procedimientos distintos (punto 11.4), se seleccionarán aquellas alternativas cuyos desplazamientos “ Δ_1 ” y “ Δ_2 ” converjan, de este modo se demuestra la viabilidad constructiva de cada alternativa. La convergencia se ha fijado en una diferencia del 5% entre ambos valores.

Se han señalado en naranja aquellos valores que no cumplen el criterio de convergencia del 5%.

12.3 Capacidad de carga

La capacidad de carga establecida en la especificación de proyecto es de 170.000 m³, el criterio impuesto para este parámetro es que la capacidad de carga calculada como se describe en el punto 11.5 esté entre 170.000 y 175.000 m³.

Las alternativas que no cumplen con esta condición se han puesto en color rojo.

12.4 Estabilidad inicial en la condición de plena carga

Se dividirá el valor de la altura metacéntrica obtenida en el punto 11.7 para cada alternativa por su respectiva manga para obtener una relación que en el caso de los petroleros debe estar preferiblemente entre 0,060 y 0,092. Cuanto mayor sea el valor de este cociente menor es el periodo de recuperación del buque lo que disminuye la confortabilidad. Se trata de elegir posibilidades que se alejen lo menos posible del valor máximo del intervalo reseñado. Los valores obtenidos se recogen en la tabla.



13 ALTERNATIVA ÓPTIMA. CONCLUSIONES

Con los criterios de selección expuestos en el punto anterior se han seleccionado una serie de alternativas que cumplen con todos los condicionantes impuestos; las alternativas seleccionadas y sus parámetros más importantes son:

Alternativa	L	B	D	Cb	Capacidad Carga (m ³)	Potencia propulsora (HP)	Coste Construcción (€)
46	270,51	46,40	24,17	0,842	173393	25234	68678242
56	259,91	47,00	24,40	0,830	170831	24274	65271525
61	264,61	47,00	24,40	0,835	173648	24791	67123246
67	269,31	47,00	23,86	0,839	172615	24823	67569188
82	263,23	47,60	24,16	0,832	172660	24371	65946438
93	272,75	47,60	23,56	0,841	174542	24970	68298144
103	261,73	48,20	23,86	0,828	171713	23965	65276961
109	266,55	48,20	23,29	0,833	171002	24041	65349485

Todas estas alternativas cumplen con la capacidad de carga requerida, además la potencia necesaria para mover cada una de ellas a la velocidad de servicio especificada (15,2 nudos) y en la situación de plena carga, es similar, por lo que el criterio de selección ha de ser necesariamente el coste de construcción.

Con la fórmula presentada en el punto 11.8, se ha hecho una estimación del coste de construcción de cada una de las alternativas, en la tabla anterior y en la última columna, puede verse que las alternativas 56 y 103 son las de menor coste aunque la primera algo menor. Por ello se elegirá como alternativa óptima la número 56 que además es la de menor eslora de entre todas las seleccionadas. Sus características más importantes se presentan a continuación:

L	259,91 m
B	47,00 m
D	24,40 m
T	16,78 m
Cb	0,830
Cm	0,997
Cp	0,833
Cwp	0,902
Xb	2,88

Lp	43,15
Enta	47,91°
Sup Mojada	18.704 m ²
Potencia (15.2 knt)	24.274 HP
Peso en rosca	24.834 t
KG del rosca	15,28 m
Desplazamiento	174.834 t
Capacidad de carga	170.831 m ³
KG plena carga	13,99 m

Todos estos datos son provisionales, son una primera estimación que sirve como punto de partida en el desarrollo del proyecto, por lo que todos ellos son susceptibles de ser modificados a medida que se avance en el proyecto para adaptarlo a los requerimientos especificados.



14 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Durante el desarrollo de todo el proyecto se ha hecho uso de una serie de referencias bibliográficas, las cuales se enumeran a continuación:

- [1] Ricardo Alvariño Castro, Juan José Azpíroz y Manuel Meizoso.; *“El proyecto básico del buque mercante”*, Ed. Fondo Editorial de Ingeniería Naval; Pub. 2007.
- [2] Lamb, Thomas (Written by an international group of authorities); *“Ship design and construction”*, Ed. Society of Naval Architects and Marine Engineers; Pub 2004.
- [3] Holtrop, J. y Mennen G.G.J.; *“An approximate power prediction method”*, International Shipbuilding Progress; Pub 1982.
- [4] Antonio Vaquero; *“Teoría del buque. Lecciones de resistencia al avance”*, Departamento de Artes Gráficas E.T.S.I.N.; Edición 2002.
- [5] Antonio Vaquero; *“Teoría del buque. Introducción a la propulsión de buques”*, Departamento de Artes Gráficas E.T.S.I.N.; Edición 2005.
- [6] Capitán I.G. Reigadas; *“El buque tanque”*, Ediciones EDG; Pub 2004.
- [7] David G. M. Watson; *“Practical Ship Design”*, ELSEVIER OCEAN ENG. BOOK SERIES; Pub 1998.
- [8] Guillermo Ricardo Gadea; *“Los buques tanque y su clasificación”*, PETROTECNIA; Abril 2004
- [9] M.A. Meizoso, J.L. Garcés; *“Apuntes de proyectos”*, Departamento de Artes Gráficas E.T.S.I.N.
- [10] G. Pérez; *“Teoría del buque (Máquinas) Tomo II-B”*, Departamento de Artes Gráficas E.T.S.I.N.
- [11] Antonio Baquero; *“Análisis de comportamiento del buque bajo la acción del timón. Aspectos hidrodinámicos y de proyecto”*, Tesis Doctoral; Canal de experiencias hidrodinámicas, el Pardo; Publicación núm. 66. Madrid, Noviembre de 1981.
- [12] Álvaro Zurita y Sáez de Navarrete; *“Introducción al diseño de cámara de máquinas”*, Sección de Publicaciones E.T.S.I.N.
- [13] K. Van Dokkum; *“Ship knowledge, a modern encyclopedia”*, Editorial Dokmar; Pub 2003
- [14] Luis Ramón Núñez Rivas; Apuntes de clase de la asignatura “Instalaciones de vapor”, Año 2006.



- [15] Alfonso López de Asiaín Zabia; Apuntes de clase de la asignatura “Equipo y servicios”, Año 2004.
- [16] Amable López Piñeiro; *“Electricidad aplicada al buque – Diseño general de la planta eléctrica”*, Departamento de Artes Gráficas E.T.S.I.N; Pub 1999.
- [17] Amable López Piñeiro; *“Distribución eléctrica a bordo”*, Departamento de Artes Gráficas E.T.S.I.N; Pub 1999.
- [18] Manuel Meizoso Fernández y José Luis García Garcés. *“Desplazamiento. Cálculo iterativo del peso en rosca y el peso muerto”*, Departamento de publicaciones de la ETSIN; Pub Junio 2000
- [19] Manuales de FORAN60.
- [20] *“Common Structural Rules for Double Hull Oil Tankers (CSR)”* publicadas por IACS y en vigor desde el 1 de Abril de 2006
- [21] Lloyds Register of Shipping; *“Rules and Regulations for the Classification of Ships”*; Edición de 2007
- [22] Convenio SOLAS, Edición consolidada 2004.
- [23] Convenio MARPOL 73/78/90 y enmiendas.
- [24] Convenio Internacional sobre Líneas de Carga de 66/88 (Edición revisada 2005).
- [25] Convenio Internacional de 23 de Junio de 1969, sobre Arqueo de Buques hecho en Londres. En vigor desde 18 de Julio de 1982.
- [26] Lloyd’s Register of Shipping; *Lloyd’s Register Information*; <http://www.lr.org>
- [27] Base de datos de buques de Lloyd’s Register of Shipping; <http://www.sea-web.com>
- [28] Jaime Torroja Méndez. *“Apuntes de proyectos. Volumen 1”*, Departamento de publicaciones de la ETSIN; Pub 1987.
- [29] *“Standards for Oil Tanker Manifolds and Associated Equipment”*, Oil Companies International Marine Forum (OCIMF). 3rd Edition 1981.
- [30] *“Recommendations for Equipment Employed in the Mooring of Ships at Single Point Moorings”*, Oil Companies International Marine Forum (OCIMF). 2nd Edition, 1988.
- [31] *“Shipping and shipbuilding markets. Annual Review 2009”*, Barry Rogliano Salles. Pub 2009.



ANEXO 1 ALTERNATIVAS GENERADAS Y PARÁMETROS ESTIMADOS



Alternativa	L	B	D	T	Cb	Cm	Cp	Cwp	Xb	Lp	Enta (°)	Superficie mojada (m ²)
1	248,69	45,80	23,85	16,41	0,819	0,996	0,822	0,894	2,82	42,08	45,96	17291
2	248,69	45,80	23,25	16,00	0,818	0,996	0,822	0,894	2,82	41,98	45,77	17084
3	248,69	45,80	22,67	15,60	0,817	0,996	0,821	0,893	2,82	41,88	45,59	16887
4	248,69	45,80	22,13	15,23	0,817	0,996	0,820	0,893	2,82	41,79	45,42	16700
5	248,69	45,80	21,60	14,86	0,816	0,996	0,819	0,892	2,82	41,69	45,25	16521
6	253,27	45,80	23,85	16,41	0,824	0,996	0,827	0,898	2,85	42,62	46,67	17681
7	253,27	45,80	23,25	16,00	0,823	0,996	0,827	0,898	2,85	42,53	46,48	17470
8	253,27	45,80	22,67	15,60	0,823	0,996	0,826	0,897	2,85	42,44	46,30	17268
9	253,27	45,80	22,13	15,23	0,822	0,996	0,825	0,896	2,85	42,35	46,12	17077
10	253,27	45,80	21,60	14,86	0,821	0,996	0,824	0,896	2,85	42,26	45,95	16894
11	257,85	45,80	23,85	16,41	0,830	0,997	0,832	0,902	2,87	43,11	47,40	18073
12	257,85	45,80	23,25	16,00	0,829	0,996	0,832	0,901	2,87	43,03	47,21	17857
13	257,85	45,80	22,67	15,60	0,828	0,996	0,831	0,901	2,87	42,95	47,02	17651
14	257,85	45,80	22,13	15,23	0,827	0,996	0,830	0,900	2,87	42,86	46,84	17456
15	257,85	45,80	21,60	14,86	0,826	0,996	0,829	0,899	2,87	42,78	46,66	17269
16	262,43	45,80	23,85	16,41	0,835	0,997	0,837	0,906	2,89	43,55	48,14	18467
17	262,43	45,80	23,25	16,00	0,834	0,997	0,836	0,905	2,89	43,47	47,95	18246
18	262,43	45,80	22,67	15,60	0,833	0,997	0,836	0,904	2,89	43,40	47,76	18036
19	262,43	45,80	22,13	15,23	0,832	0,997	0,835	0,904	2,89	43,32	47,57	17836
20	262,43	45,80	21,60	14,86	0,831	0,997	0,834	0,903	2,89	43,25	47,39	17646
21	267,01	45,80	23,85	16,41	0,840	0,997	0,842	0,909	2,91	43,94	48,91	18863
22	267,01	45,80	23,25	16,00	0,839	0,997	0,841	0,908	2,91	43,87	48,70	18638
23	267,01	45,80	22,67	15,60	0,838	0,997	0,840	0,908	2,91	43,80	48,51	18423
24	267,01	45,80	22,13	15,23	0,837	0,997	0,840	0,907	2,91	43,73	48,32	18219
25	267,01	45,80	21,60	14,86	0,836	0,997	0,839	0,907	2,91	43,67	48,14	18024
26	251,95	46,40	24,17	16,63	0,822	0,996	0,825	0,896	2,84	42,38	46,57	17787
27	251,95	46,40	23,55	16,20	0,821	0,996	0,824	0,896	2,84	42,28	46,38	17574
28	251,95	46,40	22,97	15,80	0,820	0,996	0,823	0,895	2,84	42,19	46,20	17372
29	251,95	46,40	22,42	15,42	0,819	0,996	0,823	0,895	2,84	42,09	46,03	17179
30	251,95	46,40	21,89	15,06	0,818	0,996	0,822	0,894	2,84	42,00	45,86	16996
31	256,59	46,40	24,17	16,63	0,827	0,996	0,830	0,900	2,87	42,89	47,29	18188
32	256,59	46,40	23,55	16,20	0,826	0,996	0,829	0,900	2,87	42,81	47,10	17971



Alternativa	L	B	D	T	Cb	Cm	Cp	Cwp	Xb	Lp	Enta (°)	Superficie mojada (m ²)
33	256,59	46,40	22,97	15,80	0,825	0,996	0,828	0,899	2,87	42,72	46,92	17764
34	256,59	46,40	22,42	15,42	0,825	0,996	0,828	0,898	2,87	42,63	46,74	17567
35	256,59	46,40	21,89	15,06	0,824	0,996	0,827	0,898	2,87	42,55	46,56	17379
36	261,23	46,40	24,17	16,63	0,832	0,997	0,835	0,904	2,89	43,36	48,03	18592
37	261,23	46,40	23,55	16,20	0,831	0,997	0,834	0,903	2,89	43,28	47,84	18369
38	261,23	46,40	22,97	15,80	0,830	0,997	0,833	0,903	2,89	43,20	47,65	18158
39	261,23	46,40	22,42	15,42	0,830	0,997	0,833	0,902	2,89	43,12	47,46	17957
40	261,23	46,40	21,89	15,06	0,829	0,996	0,832	0,901	2,89	43,04	47,29	17765
41	265,87	46,40	24,17	16,63	0,837	0,997	0,840	0,908	2,91	43,77	48,79	18997
42	265,87	46,40	23,55	16,20	0,836	0,997	0,839	0,907	2,91	43,70	48,59	18770
43	265,87	46,40	22,97	15,80	0,836	0,997	0,838	0,906	2,91	43,63	48,39	18554
44	265,87	46,40	22,42	15,42	0,835	0,997	0,837	0,906	2,91	43,56	48,21	18348
45	265,87	46,40	21,89	15,06	0,834	0,997	0,837	0,905	2,91	43,49	48,02	18152
46	270,51	46,40	24,17	16,63	0,842	0,997	0,845	0,911	2,92	44,13	49,56	19404
47	270,51	46,40	23,55	16,20	0,842	0,997	0,844	0,910	2,92	44,07	49,35	19173
48	270,51	46,40	22,97	15,80	0,841	0,997	0,843	0,910	2,92	44,01	49,16	18952
49	270,51	46,40	22,42	15,42	0,840	0,997	0,842	0,909	2,93	43,94	48,96	18742
50	270,51	46,40	21,89	15,06	0,839	0,997	0,841	0,909	2,93	43,88	48,78	18542
51	255,21	47,00	24,48	16,84	0,825	0,996	0,828	0,898	2,86	42,66	47,18	18291
52	255,21	47,00	23,86	16,42	0,824	0,996	0,827	0,898	2,86	42,56	46,99	18072
53	255,21	47,00	23,27	16,01	0,823	0,996	0,826	0,897	2,86	42,47	46,81	17864
54	255,21	47,00	22,71	15,62	0,822	0,996	0,825	0,896	2,86	42,38	46,63	17666
55	255,21	47,00	22,17	15,25	0,821	0,996	0,824	0,896	2,86	42,30	46,46	17477
56	259,91	47,00	24,48	16,79	0,830	0,997	0,833	0,902	2,88	43,15	47,91	18704
57	259,91	47,00	23,86	16,42	0,829	0,997	0,832	0,901	2,88	43,06	47,72	18480
58	259,91	47,00	23,27	16,01	0,828	0,996	0,831	0,901	2,88	42,98	47,53	18267
59	259,91	47,00	22,71	15,62	0,827	0,996	0,830	0,900	2,88	42,90	47,35	18065
60	259,91	47,00	22,17	15,25	0,826	0,996	0,829	0,900	2,88	42,82	47,17	17871
61	264,61	47,00	24,48	16,79	0,835	0,997	0,838	0,906	2,90	43,59	48,66	19118
62	264,61	47,00	23,86	16,42	0,834	0,997	0,837	0,905	2,90	43,51	48,46	18890
63	264,61	47,00	23,27	16,01	0,833	0,997	0,836	0,905	2,90	43,44	48,27	18672
64	264,61	47,00	22,71	15,62	0,832	0,997	0,835	0,904	2,90	43,36	48,09	18465



Alternativa	L	B	D	T	Cb	Cm	Cp	Cwp	Xb	Lp	Enta (°)	Superficie mojada (m ²)
65	264,61	47,00	22,17	15,25	0,832	0,997	0,834	0,903	2,90	43,29	47,91	18268
66	269,31	47,00	24,48	16,84	0,840	0,997	0,843	0,909	2,92	43,97	49,42	19535
67	269,31	47,00	23,86	16,42	0,839	0,997	0,842	0,909	2,92	43,91	49,22	19302
68	269,31	47,00	23,27	16,01	0,838	0,997	0,841	0,908	2,92	43,84	49,03	19080
69	269,31	47,00	22,71	15,62	0,837	0,997	0,840	0,908	2,92	43,77	48,84	18868
70	269,31	47,00	22,17	15,25	0,837	0,997	0,839	0,907	2,92	43,71	48,65	18666
71	274,01	47,00	24,48	16,84	0,845	0,997	0,848	0,913	2,93	44,31	50,21	19954
72	274,01	47,00	23,86	16,42	0,844	0,997	0,847	0,912	2,93	44,25	50,00	19716
73	274,01	47,00	23,27	16,01	0,843	0,997	0,846	0,912	2,94	44,19	49,80	19489
74	274,01	47,00	22,71	15,62	0,842	0,997	0,845	0,911	2,94	44,13	49,61	19273
75	274,01	47,00	22,17	15,25	0,842	0,997	0,844	0,911	2,94	44,08	49,42	19067
76	258,47	47,60	24,79	17,06	0,827	0,996	0,830	0,900	2,88	42,92	47,79	18802
77	258,47	47,60	24,16	16,62	0,826	0,996	0,829	0,900	2,88	42,83	47,60	18577
78	258,47	47,60	23,56	16,21	0,826	0,996	0,829	0,899	2,88	42,74	47,41	18364
79	258,47	47,60	23,00	15,82	0,825	0,996	0,828	0,898	2,88	42,66	47,23	18160
80	258,47	47,60	22,45	15,45	0,824	0,996	0,827	0,898	2,88	42,57	47,06	17966
81	263,23	47,60	24,79	17,06	0,833	0,997	0,835	0,904	2,90	43,39	48,53	19227
82	263,23	47,60	24,16	16,62	0,832	0,997	0,835	0,903	2,90	43,31	48,33	18997
83	263,23	47,60	23,56	16,21	0,831	0,997	0,834	0,903	2,90	43,23	48,14	18778
84	263,23	47,60	23,00	15,82	0,830	0,997	0,833	0,902	2,90	43,15	47,96	18570
85	263,23	47,60	22,45	15,45	0,829	0,997	0,832	0,902	2,90	43,07	47,78	18371
86	267,99	47,60	24,79	17,06	0,838	0,997	0,840	0,908	2,92	43,80	49,28	19653
87	267,99	47,60	24,16	16,62	0,837	0,997	0,840	0,907	2,92	43,73	49,08	19418
88	267,99	47,60	23,56	16,21	0,836	0,997	0,839	0,906	2,92	43,66	48,89	19194
89	267,99	47,60	23,00	15,82	0,835	0,997	0,838	0,906	2,92	43,59	48,70	18982
90	267,99	47,60	22,45	15,45	0,834	0,997	0,837	0,905	2,92	43,52	48,52	18779
91	272,75	47,60	24,79	17,06	0,843	0,997	0,845	0,911	2,93	44,16	50,06	20081
92	272,75	47,60	24,16	16,62	0,842	0,997	0,844	0,911	2,93	44,10	49,86	19841
93	272,75	47,60	23,56	16,21	0,841	0,997	0,844	0,910	2,93	44,04	49,66	19613
94	272,75	47,60	23,00	15,82	0,840	0,997	0,843	0,909	2,93	43,97	49,47	19396
95	272,75	47,60	22,45	15,45	0,839	0,997	0,842	0,909	2,93	43,91	49,28	19188
96	277,51	47,60	24,79	17,06	0,848	0,997	0,850	0,915	2,94	44,47	50,85	20512



Alternativa	L	B	D	T	Cb	Cm	Cp	Cwp	Xb	Lp	Enta (°)	Superficie mojada (m ²)
97	277,51	47,60	24,16	16,62	0,847	0,997	0,849	0,914	2,94	44,42	50,64	20267
98	277,51	47,60	23,56	16,21	0,846	0,997	0,848	0,914	2,95	44,37	50,44	20034
99	277,51	47,60	23,00	15,82	0,845	0,997	0,848	0,913	2,95	44,31	50,25	19812
100	277,51	47,60	22,45	15,45	0,844	0,997	0,847	0,912	2,95	44,26	50,06	19600
101	261,73	48,20	25,10	17,27	0,830	0,997	0,833	0,902	2,89	43,16	48,39	19321
102	261,73	48,20	24,47	16,84	0,829	0,997	0,832	0,902	2,89	43,08	48,20	19090
103	261,73	48,20	23,86	16,42	0,828	0,996	0,831	0,901	2,89	43,00	48,01	18870
104	261,73	48,20	23,29	16,02	0,827	0,996	0,830	0,900	2,89	42,92	47,83	18661
105	261,73	48,20	22,74	15,65	0,827	0,996	0,830	0,900	2,89	42,84	47,65	18461
106	266,55	48,20	25,10	17,27	0,835	0,997	0,838	0,906	2,91	43,61	49,14	19757
107	266,55	48,20	24,47	16,84	0,834	0,997	0,837	0,905	2,91	43,53	48,94	19521
108	266,55	48,20	23,86	16,42	0,833	0,997	0,836	0,905	2,91	43,46	48,75	19296
109	266,55	48,20	23,29	16,02	0,833	0,997	0,835	0,904	2,91	43,38	48,56	19082
110	266,55	48,20	22,74	15,65	0,832	0,997	0,835	0,903	2,91	43,31	48,38	18878
111	271,37	48,20	25,10	17,27	0,840	0,997	0,843	0,910	2,93	44,00	49,91	20195
112	271,37	48,20	24,47	16,84	0,840	0,997	0,842	0,909	2,93	43,93	49,70	19954
113	271,37	48,20	23,86	16,42	0,839	0,997	0,841	0,908	2,93	43,86	49,51	19724
114	271,37	48,20	23,29	16,02	0,838	0,997	0,840	0,908	2,93	43,80	49,32	19506
115	271,37	48,20	22,74	15,65	0,837	0,997	0,840	0,907	2,93	43,73	49,13	19297
116	276,19	48,20	25,10	17,27	0,846	0,997	0,848	0,913	2,94	44,33	50,69	20636
117	276,19	48,20	24,47	16,84	0,845	0,997	0,847	0,913	2,94	44,28	50,49	20389
118	276,19	48,20	23,86	16,42	0,844	0,997	0,846	0,912	2,94	44,22	50,28	20155
119	276,19	48,20	23,29	16,02	0,843	0,997	0,845	0,911	2,94	44,16	50,09	19931
120	276,19	48,20	22,74	15,65	0,842	0,997	0,845	0,911	2,95	44,10	49,90	19718
121	281,01	48,20	25,10	17,27	0,851	0,997	0,853	0,917	2,95	44,62	51,50	21078
122	281,01	48,20	24,47	16,84	0,850	0,997	0,852	0,916	2,95	44,57	51,29	20827
123	281,01	48,20	23,86	16,42	0,849	0,997	0,851	0,916	2,95	44,52	51,08	20587
124	281,01	48,20	23,29	16,02	0,848	0,997	0,850	0,915	2,96	44,47	50,88	20359
125	281,01	48,20	22,74	15,65	0,847	0,997	0,849	0,914	2,96	44,42	50,69	20141
126	264,98	48,80	25,42	17,49	0,833	0,997	0,836	0,904	2,91	43,39	48,99	19848
127	264,98	48,80	24,77	17,04	0,832	0,997	0,835	0,903	2,91	43,31	48,79	19610
128	264,98	48,80	24,16	16,62	0,831	0,997	0,834	0,903	2,91	43,24	48,60	19385



Alternativa	L	B	D	T	Cb	Cm	Cp	Cwp	Xb	Lp	Enta (°)	Superficie mojada (m ²)
129	264,98	48,80	23,57	16,22	0,830	0,997	0,833	0,902	2,91	43,16	48,42	19170
130	264,98	48,80	23,02	15,84	0,829	0,997	0,832	0,902	2,91	43,08	48,24	18965
131	269,86	48,80	25,42	17,49	0,838	0,997	0,841	0,908	2,92	43,81	49,75	20296
132	269,86	48,80	24,77	17,04	0,837	0,997	0,840	0,907	2,92	43,74	49,55	20053
133	269,86	48,80	24,16	16,62	0,836	0,997	0,839	0,907	2,92	43,67	49,35	19822
134	269,86	48,80	23,57	16,22	0,835	0,997	0,838	0,906	2,93	43,60	49,17	19602
135	269,86	48,80	23,02	15,84	0,834	0,997	0,837	0,905	2,93	43,53	48,98	19393
136	274,74	48,80	25,42	17,49	0,843	0,997	0,846	0,912	2,94	44,18	50,52	20746
137	274,74	48,80	24,77	17,04	0,842	0,997	0,845	0,911	2,94	44,12	50,32	20498
138	274,74	48,80	24,16	16,62	0,841	0,997	0,844	0,910	2,94	44,05	50,12	20262
139	274,74	48,80	23,57	16,22	0,840	0,997	0,843	0,910	2,94	43,99	49,93	20037
140	274,74	48,80	23,02	15,84	0,840	0,997	0,842	0,909	2,94	43,93	49,74	19823
141	279,62	48,80	25,42	17,49	0,848	0,997	0,851	0,915	2,95	44,49	51,32	21198
142	279,62	48,80	24,77	17,04	0,847	0,997	0,850	0,915	2,95	44,44	51,11	20945
143	279,62	48,80	24,16	16,62	0,846	0,997	0,849	0,914	2,95	44,38	50,91	20704
144	279,62	48,80	23,57	16,22	0,846	0,997	0,848	0,913	2,95	44,33	50,71	20474
145	279,62	48,80	23,02	15,84	0,845	0,997	0,847	0,913	2,95	44,28	50,52	20256
146	284,50	48,80	25,42	17,49	0,853	0,997	0,856	0,919	2,96	44,76	52,14	21653
147	284,50	48,80	24,77	17,04	0,852	0,997	0,855	0,918	2,96	44,71	51,93	21394
148	284,50	48,80	24,16	16,62	0,852	0,997	0,854	0,918	2,96	44,66	51,72	21148
149	284,50	48,80	23,57	16,22	0,851	0,997	0,853	0,917	2,96	44,62	51,52	20914
150	284,50	48,80	23,02	15,84	0,850	0,997	0,852	0,916	2,97	44,57	51,32	20690



ANEXO 2 CARÁCTERISTICAS OPERATIVAS DE CADA ALTERNATIVA



Alternativa	Potencia (Hp)	Peso en rosca (t)	L/D	Desp1 "Δ ₁ "(t)	Desp2 "Δ ₂ "(t)	Capacidad Carga (m ³)	KG _{WL} (m)	KG _{PM} (m)	KG _{PC} (m)	GM _{PC} (m)	GM _{PC} /B	Coste de construcción (€)
1	22653	22543	10,43	159048	172543	157213	14,97	13,46	13,65	3,87	0,085	59534403
2	22193	22087	10,70	155046	172087	153897	14,64	13,15	13,34	4,10	0,090	58326258
3	21764	21646	10,97	151179	171646	150664	14,32	12,86	13,04	4,34	0,095	57155015
4	21362	21233	11,24	147577	171233	147679	14,02	12,58	12,76	4,57	0,100	56061474
5	20986	20828	11,51	144043	170828	144724	13,72	12,31	12,49	4,82	0,105	54985236
6	23110	23215	10,62	161977	173215	159812	14,93	13,46	13,65	3,92	0,085	61239685
7	22643	22745	10,89	157902	172745	156431	14,60	13,15	13,34	4,14	0,090	59993478
8	22208	22291	11,17	153963	172291	153135	14,27	12,86	13,04	4,37	0,095	58785336
9	21801	21866	11,44	150295	171866	150065	13,97	12,58	12,76	4,60	0,100	57657343
10	21419	21448	11,73	146696	171448	147079	13,68	12,31	12,49	4,85	0,106	56547199
11	23584	23896	10,81	164906	173896	162417	14,88	13,46	13,65	3,94	0,086	62966700
12	23110	23412	11,09	160757	173412	158942	14,55	13,15	13,34	4,17	0,091	61681946
13	22668	22944	11,37	156747	172944	155611	14,23	12,86	13,04	4,40	0,096	60436434
14	22254	22506	11,65	153013	172506	152482	13,93	12,58	12,76	4,64	0,101	59273551
15	21867	22077	11,94	149349	172077	149412	13,64	12,31	12,48	4,88	0,107	58129068
16	24076	24585	11,00	167835	174585	165027	14,84	13,46	13,65	3,98	0,087	64715333
17	23595	24087	11,29	163613	174087	161486	14,51	13,15	13,34	4,20	0,092	63391550
18	23145	23605	11,58	159531	173605	158064	14,18	12,86	13,04	4,43	0,097	62108200
19	22725	23155	11,86	155731	173155	154905	13,89	12,58	12,76	4,66	0,102	60909989
20	22332	22713	12,15	152001	172713	151777	13,60	12,31	12,48	4,90	0,107	59730738
21	24589	25283	11,20	170764	175283	167612	14,79	13,46	13,65	4,02	0,088	66485472
22	24099	24771	11,48	166468	174771	164006	14,46	13,15	13,34	4,24	0,093	65122178
23	23642	24275	11,78	162315	174275	160550	14,14	12,86	13,04	4,47	0,098	63800525
24	23214	23812	12,07	158449	173812	157304	13,84	12,58	12,76	4,69	0,103	62566552
25	22814	23357	12,36	154654	173357	154146	13,55	12,31	12,48	4,93	0,108	61352105
26	23210	23324	10,42	165434	173324	162574	15,15	13,62	13,82	4,13	0,089	61477636
27	22739	22843	10,70	161190	172843	159055	14,81	13,30	13,50	4,36	0,094	60201492
28	22300	22392	10,97	157220	172392	155736	14,49	13,01	13,20	4,59	0,099	59004211
29	21890	21963	11,24	153456	171963	152615	14,18	12,73	12,92	4,83	0,104	57865677
30	21505	21549	11,51	149828	171549	149581	13,89	12,46	12,64	5,07	0,109	56765538
31	23687	24020	10,62	168480	174020	165278	15,11	13,62	13,82	4,17	0,090	63244136



Alternativa	Potencia (Hp)	Peso en rosca (t)	L/D	Desp1 "Δ ₁ "(t)	Desp2 "Δ ₂ "(t)	Capacidad Carga (m ³)	KG _{WL} (m)	KG _{PM} (m)	KG _{PC} (m)	GM _{PC} (m)	GM _{PC} /B	Coste de construcción (€)
32	23209	23525	10,90	164159	173525	161691	14,76	13,30	13,50	4,40	0,095	61927788
33	22763	23060	11,17	160116	173060	158306	14,44	13,01	13,20	4,63	0,100	60692787
34	22347	22618	11,44	156282	172618	155096	14,14	12,73	12,91	4,85	0,105	59518384
35	21956	22192	11,72	152587	172192	152030	13,84	12,46	12,64	5,09	0,110	58383585
36	24182	24725	10,81	171527	174725	167988	15,06	13,62	13,82	4,21	0,091	65033149
37	23697	24215	11,09	167127	174215	164302	14,72	13,30	13,50	4,43	0,095	63676084
38	23243	23737	11,37	163011	173737	160882	14,40	13,01	13,20	4,66	0,100	62402883
39	22820	23282	11,65	159108	173282	157610	14,09	12,73	12,91	4,88	0,105	61192154
40	22423	22842	11,93	155347	172842	154458	13,80	12,46	12,64	5,12	0,110	60022254
41	24697	25439	11,00	174574	175439	165703	15,02	13,62	13,82	4,25	0,092	66844557
42	24203	24914	11,29	170096	174914	166947	14,67	13,30	13,50	4,47	0,096	65446265
43	23742	24421	11,57	165906	174421	163433	14,35	13,01	13,20	4,68	0,101	64134385
44	23311	23953	11,86	161934	173953	160130	14,05	12,73	12,91	4,91	0,106	62886875
45	22908	23501	12,15	158106	173501	156918	13,75	12,46	12,64	5,15	0,111	61681434
46	25234	26161	11,19	177620	176161	173393	14,97	13,62	13,82	4,29	0,092	68678242
47	24730	25622	11,49	173064	175622	169568	14,62	13,30	13,50	4,50	0,097	67238217
48	24261	25115	11,78	168802	175115	166020	14,30	13,01	13,19	4,72	0,102	65887182
49	23823	24633	12,07	164760	174633	162625	14,00	12,73	12,91	4,94	0,107	64602438
50	23412	24168	12,36	160865	174168	159383	13,71	12,46	12,63	5,18	0,112	63361019
51	23776	24114	10,43	171918	174114	168021	15,33	13,78	13,99	4,38	0,093	63443107
52	23295	23623	10,70	167564	173623	164409	14,98	13,46	13,67	4,61	0,098	62138976
53	22846	23155	10,97	163421	173155	160944	14,65	13,16	13,36	4,84	0,103	60894364
54	22426	22709	11,24	159488	172709	157654	14,34	12,88	13,07	5,08	0,108	59709712
55	22032	22278	11,51	155695	172278	154509	14,05	12,60	12,79	5,32	0,113	58564222
56	24274	24834	10,62	175084	174834	170831	15,28	13,78	13,99	4,42	0,094	65271525
57	23785	24329	10,89	170650	174329	167119	14,94	13,46	13,67	4,64	0,099	63926308
58	23329	23846	11,17	166430	173846	163616	14,61	13,16	13,36	4,88	0,104	62642485
59	22902	23387	11,44	162425	173387	160262	14,30	12,88	13,07	5,11	0,109	61420511
60	22502	22943	11,72	158563	172943	157056	14,00	12,60	12,79	5,35	0,114	60238933
61	24791	25564	10,81	178250	175564	173648	15,24	13,78	13,99	4,46	0,095	67123246
62	24294	25043	11,09	173736	175043	169864	14,89	13,46	13,67	4,68	0,100	65736419



Alternativa	Potencia (Hp)	Peso en rosca (t)	L/D	Desp1 "Δ ₁ "(t)	Desp2 "Δ ₂ "(t)	Capacidad Carga (m ³)	KG _{WL} (m)	KG _{PM} (m)	KG _{PC} (m)	GM _{PC} (m)	GM _{PC} /B	Coste de construcción (€)
63	23829	24546	11,37	169440	174546	166294	14,57	13,16	13,36	4,91	0,104	64412885
64	23395	24073	11,65	165362	174073	162875	14,26	12,88	13,07	5,14	0,109	63153114
65	22989	23616	11,94	161430	173616	159579	13,95	12,60	12,79	5,37	0,114	61934987
66	25330	26303	11,00	181416	176303	176438	15,19	13,78	13,99	4,51	0,096	68998147
67	24823	25767	11,29	176822	175767	172615	14,85	13,46	13,66	4,72	0,100	67569189
68	24350	25255	11,57	172449	175255	168947	14,52	13,16	13,36	4,94	0,105	66205447
69	23909	24768	11,86	168299	174768	165494	14,21	12,88	13,07	5,17	0,110	64907405
70	23495	24298	12,15	164297	174298	162136	13,91	12,60	12,79	5,40	0,115	63652272
71	25891	27051	11,19	184582	177051	179266	15,14	13,78	13,98	4,54	0,097	70896107
72	25375	26499	11,48	179908	176499	175340	14,80	13,46	13,66	4,76	0,101	69424499
73	24893	25973	11,78	175459	175973	171636	14,47	13,16	13,35	4,98	0,106	68020055
74	24443	25472	12,07	171236	175472	168088	14,16	12,88	13,06	5,20	0,111	66683271
75	24022	24988	12,36	167165	174988	164698	13,86	12,60	12,78	5,43	0,115	65390677
76	24352	24921	10,43	178570	174921	173611	15,50	13,93	14,16	4,65	0,098	65451292
77	23860	24412	10,70	174032	174412	169846	15,15	13,61	13,83	4,88	0,102	64097410
78	23401	23926	10,97	169710	173926	166229	14,82	13,31	13,52	5,10	0,107	62804262
79	22971	23470	11,24	165676	173470	162854	14,51	13,02	13,22	5,33	0,112	61593933
80	22568	23023	11,51	161714	173023	159568	14,20	12,75	12,94	5,57	0,117	60401960
81	24871	25666	10,62	181859	175666	176530	15,45	13,93	14,16	4,68	0,098	67342974
82	24371	25141	10,90	177237	175141	172660	15,10	13,61	13,83	4,90	0,103	65946439
83	23904	24641	11,17	172835	174641	169005	14,77	13,31	13,52	5,13	0,108	64612550
84	23467	24171	11,44	168727	174171	165563	14,46	13,02	13,22	5,36	0,113	63364091
85	23057	23710	11,73	164692	173710	162213	14,16	12,75	12,94	5,60	0,118	62134564
86	25412	26421	10,81	185147	176421	179457	15,41	13,93	14,15	4,72	0,099	69258765
87	24902	25880	11,09	180442	175880	175512	15,06	13,61	13,83	4,94	0,104	67819033
88	24426	25365	11,37	175961	175365	169755	14,73	13,31	13,51	5,17	0,109	66443885
89	23981	24882	11,65	171778	174882	168279	14,42	13,02	13,22	5,39	0,113	65156808
90	23565	24407	11,94	167671	174407	164834	14,11	12,75	12,94	5,63	0,118	63889251
91	25975	27185	11,00	188436	177185	182355	15,36	13,93	14,15	4,76	0,100	71198539
92	25455	26629	11,29	183647	176629	178370	15,01	13,61	13,82	4,98	0,105	69715068
93	24970	26098	11,58	179086	176098	174542	14,68	13,31	13,51	5,20	0,109	68298144



Alternativa	Potencia (Hp)	Peso en rosca (t)	L/D	Desp1 "Δ ₁ "(t)	Desp2 "Δ ₂ "(t)	Capacidad Carga (m ³)	KG _{WL} (m)	KG _{PM} (m)	KG _{PC} (m)	GM _{PC} (m)	GM _{PC} /B	Coste de construcción (€)
94	24517	25601	11,86	174829	175601	170969	14,37	13,02	13,22	5,42	0,114	66971967
95	24093	25112	12,15	170649	175112	167490	14,06	12,75	12,93	5,66	0,119	65665902
96	26563	27959	11,19	191724	177959	185294	15,31	13,93	14,15	4,80	0,101	73162170
97	26032	27387	11,49	186852	177387	181201	14,96	13,61	13,82	5,02	0,105	71634423
98	25538	26841	11,78	182211	176841	177335	14,63	13,31	13,51	5,24	0,110	70175209
99	25076	26329	12,07	177880	176329	173695	14,32	13,02	13,22	5,46	0,115	68809450
100	24643	25826	12,36	173627	175826	170121	14,02	12,75	12,93	5,69	0,120	67464404
101	24938	25744	10,43	185391	175744	179345	15,68	14,09	14,32	4,91	0,102	67502563
102	24435	25225	10,70	180738	175225	175484	15,33	13,77	13,99	5,12	0,106	66119741
103	23965	24720	10,97	176232	174720	171713	14,99	13,46	13,68	5,36	0,111	65276961
104	23525	24248	11,24	172022	174248	168188	14,67	13,17	13,38	5,59	0,116	63518693
105	23113	23790	11,51	167960	173790	164818	14,36	12,89	13,09	5,82	0,121	62301253
106	25480	26515	10,62	188805	176515	182378	15,63	14,09	14,32	4,95	0,103	69458866
107	24967	25979	10,89	184066	175979	178407	15,28	13,77	13,99	5,17	0,107	68032479
108	24489	25460	11,17	179478	175460	176596	14,94	13,46	13,68	5,39	0,112	66647395
109	24041	24972	11,44	175190	174972	171002	14,62	13,17	13,38	5,61	0,116	65349486
110	23622	24502	11,72	171053	174502	167536	14,32	12,89	13,09	5,84	0,121	64093691
111	26044	27295	10,81	192219	177295	185416	15,58	14,09	14,32	4,99	0,104	71440103
112	25521	26743	11,09	187395	176743	181370	15,23	13,77	13,99	5,20	0,108	69969595
113	25034	26208	11,37	182723	176208	177452	14,89	13,46	13,67	5,42	0,112	68541668
114	24578	25707	11,65	178358	175707	173823	14,57	13,17	13,38	5,64	0,117	67203612
115	24151	25222	11,93	174146	175222	170289	14,27	12,89	13,09	5,88	0,122	65908973
116	26632	28085	11,00	195634	178085	188426	15,53	14,09	14,32	5,02	0,104	73446142
117	26099	27518	11,29	190723	177518	184338	15,18	13,77	13,99	5,23	0,109	71930961
118	25602	26967	11,58	185969	176967	180347	14,84	13,46	13,67	5,45	0,113	70459654
119	25137	26451	11,86	181526	176451	176616	14,53	13,17	13,37	5,68	0,118	69080948
120	24702	25951	12,15	177239	175951	173048	14,22	12,89	13,09	5,91	0,123	67746979
121	27248	28886	11,20	199048	178886	191478	15,48	14,09	14,31	5,06	0,105	75476854
122	26704	28302	11,48	194052	178302	187279	15,13	13,77	13,99	5,27	0,109	73916450
123	26196	27735	11,78	189214	177735	183248	14,79	13,46	13,67	5,49	0,114	72401230
124	25721	27204	12,07	184694	177204	179448	14,48	13,17	13,37	5,71	0,118	70981375



Alternativa	Potencia (Hp)	Peso en rosca (t)	L/D	Desp1 "Δ ₁ "(t)	Desp2 "Δ ₂ "(t)	Capacidad Carga (m ³)	KG _{WL} (m)	KG _{PM} (m)	KG _{PC} (m)	GM _{PC} (m)	GM _{PC} /B	Coste de construcción (€)
125	25278	26690	12,36	180333	176690	175782	14,17	12,89	13,09	5,94	0,123	69607591
126	25534	26591	10,42	192452	176591	185284	15,85	14,25	14,49	5,16	0,106	69615550
127	25019	26045	10,70	187531	176045	181165	15,49	13,92	14,16	5,38	0,110	68158819
128	24538	25530	10,97	182913	175530	177332	15,15	13,61	13,84	5,61	0,115	66787768
129	24089	25031	11,24	183446	175031	173592	14,83	13,31	13,53	5,84	0,120	65457924
130	23667	24564	11,51	174282	174564	168136	14,52	13,03	13,24	6,07	0,124	64214818
131	26099	27388	10,62	195997	177388	188432	15,81	14,25	14,49	5,21	0,107	71638495
132	25574	26824	10,89	190985	176824	184233	15,45	13,92	14,15	5,42	0,111	70135869
133	25084	26294	11,17	186282	176294	180325	15,11	13,61	13,84	5,64	0,116	68721622
134	24626	25780	11,45	181733	175780	176512	14,78	13,31	13,53	5,88	0,120	67349880
135	24197	25299	11,72	177492	175299	172957	14,48	13,03	13,24	6,11	0,125	66067608
136	26688	28194	10,81	199541	178194	191587	15,76	14,25	14,49	5,25	0,108	73687226
137	26152	27614	11,09	194439	177614	187307	15,40	13,92	14,15	5,46	0,112	72138118
138	25653	27068	11,37	189650	177068	183290	15,06	13,61	13,83	5,68	0,116	70680124
139	25186	26539	11,66	185019	176539	179438	14,73	13,31	13,53	5,91	0,121	69265950
140	24748	26044	11,93	180702	176044	175814	14,42	13,03	13,24	6,13	0,126	67944014
141	27303	29012	11,00	203085	179012	194713	15,71	14,25	14,49	5,29	0,108	75761604
142	26756	28415	11,29	197892	178415	190389	15,35	13,92	14,15	5,50	0,113	74165433
143	26246	27852	11,57	193019	177852	186295	15,01	13,61	13,83	5,72	0,117	72663145
144	25770	27307	11,86	188305	177307	182337	14,68	13,31	13,52	5,93	0,122	71206007
145	25324	26798	12,15	183911	176798	178678	14,37	13,03	13,24	6,16	0,126	69843910
146	27948	29840	11,19	206630	179840	197881	15,66	14,25	14,49	5,33	0,109	77861498
147	27389	29225	11,49	201346	179225	193440	15,30	13,92	14,15	5,54	0,113	76217685
148	26867	28646	11,78	196387	178646	189307	14,95	13,61	13,83	5,74	0,118	74670557
149	26380	28086	12,07	191592	178086	185275	14,63	13,31	13,52	5,96	0,122	73169927
150	25925	27561	12,36	187121	177561	181515	14,32	13,03	13,23	6,19	0,127	71767175

PROYECTO 1.731
PETROLERO PARA CRUDO 150.000 TPM

CUADERNO 2

FORMAS



Tutor: D. Francisco Alonso Thous

Realizado por: José Antonio Durango Ramón



CONTENIDOS

1	INTRODUCCIÓN	2
2	NOMENCLATURA	3
3	ANÁLISIS PREVIO DE LAS FORMAS A GENERAR.....	4
4	GENERACIÓN DE FORMAS	6
5	PERFILES DE PROA Y POPA	10
5.1	Perfil de proa	10
5.2	Perfil de popa.....	11
6	ANÁLISIS DE LOS BULBOS.....	13
6.1	Bulbo de proa	13
6.2	Bulbo de popa.....	14
7	CURVA DE ÁREAS SECCIONALES.....	15
8	PLANO DE FORMAS.....	17
9	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	20



1 INTRODUCCIÓN

Este documento describe el proceso de obtención de las formas del buque a proyectar, que es el siguiente paso al proceso de dimensionamiento, el cual se ha descrito en el Cuaderno 1. Partiendo de las dimensiones y coeficientes obtenidos en el proceso de dimensionamiento se van a generar unas formas que se aproximen a todas estas características. Estas formas se obtendrán por medio de una transformación afín a partir de otras de un buque petrolero de dimensiones mayores al buque que se pretende proyectar.

Una vez obtenidas las formas, se analizarán sus parámetros más significativos, comparándolos con los valores recomendados para buques petroleros del mismo tipo y tamaño que el buque proyecto.

Como en el resto de cuadernos, al final de este documento se presenta una lista de referencias que han sido consultadas a lo largo de todo el proyecto.



2 NOMENCLATURA

Variable	Descripción (unidades)
L	Eslora entre perpendiculares (m)
L_T	Eslora total (m)
L_F	Eslora de la flotación (m)
B	Manga de trazado (m)
D	Puntal de trazado (m)
T	Calado de proyecto (m)
Cb	Coeficiente de bloque
Cm	Coeficiente de la maestra
Cp	Coeficiente prismático longitudinal
Cwp	Coeficiente de la flotación
Xb	Posición longitudinal del centro de carena
X'b	Abscisa del centro de carena (m)
X'F	Abscisa del c.d.g. de la flotación (m)
Lp	Longitud del cuerpo cilíndrico
α	Semiángulo de entrada en la flotación ($^{\circ}$)
hb	Altura del bulbo de proa (m)
Pr	Protuberancia del bulbo de proa (m)
Ab	Área proyectada del bulbo de proa (m^2)
V_C	Volumen de carena (m^3)
A_M	Área de la cuaderna maestra (m^2)
Δ	Desplazamiento (t)
Lp	Longitud del cuerpo cilíndrico



3 ANÁLISIS PREVIO DE LAS FORMAS A GENERAR

La especificación del buque proyecto impone una serie de condicionantes que afectan directamente a las formas del buque como son:

- Buque de cubierta corrida
- Proa y popa de bulbo
- Codaste abierto
- Timón tipo "Mariner"

Todo ello a parte de sus dimensiones y coeficientes de formas derivados de los parámetros de operación impuestos en la citada especificación. Estas dimensiones y coeficientes se han obtenido en el proceso de dimensionamiento del buque (cuaderno 1) y se usarán para generar unas formas de partida para el buque proyecto. Los datos referidos, que sirven como punto de partida en este documento se presentan a continuación:

L	259,91 m
B	47,00 m
D	24,40 m
T	16,78 m
Cb	0,830
Cm	0,997

Cp	0,833
Cwp	0,902
Xb	2,9
Lp	43,15
α	47,91

El proyecto de las formas de la carena de un buque es un proceso sumamente complejo, en el que intervienen distintos aspectos de la ingeniería naval, principalmente resistencia y propulsión, estabilidad, trimado, comportamiento del buque en aguas agitadas, maniobrabilidad, capacidad de los espacios de carga y su estiba más adecuada, procesos de fabricación, etc. Es decir, que una gran parte de la arquitectura naval está presente de forma activa durante el proceso de definición de las formas del buque.

En este proceso tan delicado hay que tener en cuenta una serie de aspectos que afectan a todas las zonas de la carena, estos factores son decisivos en temas tan importantes como la facilidad y coste de construcción, operatividad, rendimiento, cumplimiento con la especificación, etc. Estas consideraciones se exponen a continuación:

Zona de proa

- La resistencia por formación de olas depende fuertemente del cuerpo de entrada y de su transición hacia el cuerpo cilíndrico.
- En esta clase de buques de alto coeficiente de bloque es importante suavizar el hombro de proa (forward shoulder) de la curva de áreas de cuadernas. Esta curva debe ser tanto en esta zona como en la de popa recta o ligeramente convexa.
- Las cuadernas en esta zona deben ser en forma de U con costados verticales en su parte alta y con una transición hacia formas en V en su parte baja.



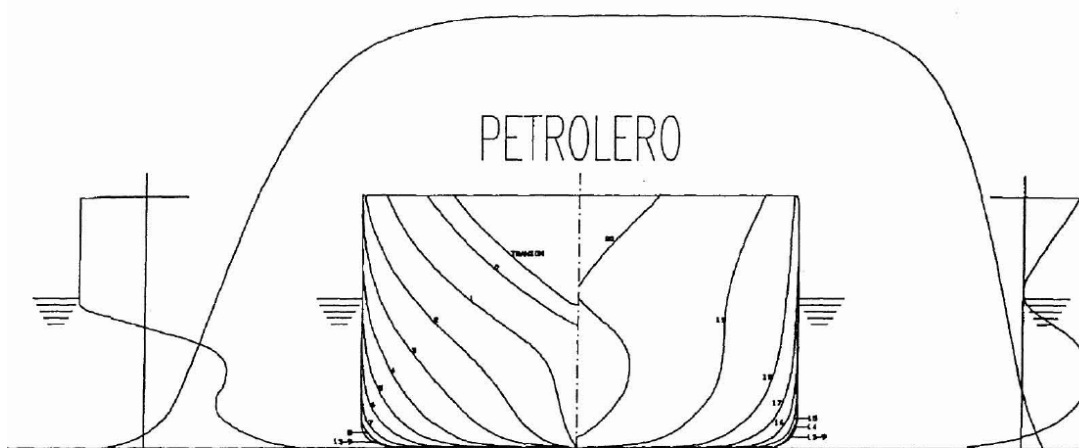
- El bulbo de proa es efectivo para reducir la resistencia por formación de olas, y su tamaño óptimo aumenta con el coeficiente de bloque del cuerpo de proa.
- En esta clase de buques se suelen llenar las formas en la proa por su parte inferior, con objeto de aumentar la eficiencia de espacios y mejorar la estabilidad, para compensar el aumento que esto supone en la resistencia se afinan las formas de popa con lo que el rendimiento del casco aumenta.

Zona de popa

- La ubicación de la hélice, el espacio disponible debe permitir la instalación del propulsor adecuado con los huelgos especificados por los reglamentos y que evite problemas de vibraciones.
- El afinado de las formas de popa no puede ser muy grande puesto que sino la estela se reduciría sin la compensación correspondiente de la reducción del coeficiente de succión, por tanto, daría lugar a una disminución en el rendimiento del casco y por tanto en el coeficiente de propulsión.
- Los factores propulsivos dependen básicamente de la forma del cuerpo de salida, por lo que hay que intentar asegurar la provisión de un flujo de agua uniforme tanto al propulsor como al timón, con ello se conseguirá un rendimiento propulsivo elevado así como una correcta maniobrabilidad y estabilidad de rumbo.
- El cuerpo de salida debe ser tal, que se minimice la separación de la capa límite y por tanto la resistencia al avance del buque. Las cuadernas en forma de U requieren menor potencia propulsora que las que tienen forma de V.
- Las formas de popa deben asegurar un espacio suficiente para la instalación del timón, el equipo de gobierno, amarre de popa, equipo de remolque, etc.
- Todo ello sin olvidar el factor económico ya que se deben obtener unas formas que no sean excesivamente costosas y difíciles de construir.

Además la longitud del cuerpo cilíndrico tiene mucho interés en relación con los costes de fabricación del casco, que son menores cuanto mayor sea la longitud del cuerpo cilíndrico.

Un esquema general de lo que serían unas formas típicas para esta clase de buques se presenta a continuación:





4 GENERACIÓN DE FORMAS

Las formas del buque proyecto se han obtenido por medio de una transformación de formas de otro buque petrolero con las siguientes dimensiones:

Eslora total	333 m
Eslora entre perpendiculares	318 m
Manga	57 m
Puntal	31 m
Calado de Diseño	21 m

Para llegar a las dimensiones del buque proyecto se ha realizado sobre estas formas una transformación afín con el programa FORAN60, en su módulo FORMF, tratando de forma independiente las distintas zonas en que se dividió el buque: cuerpo de proa, cuerpo cilíndrico y cuerpo de popa, uniéndolas una vez realizadas dichas transformaciones.

Seguidamente se modificó el coeficiente de bloque para adaptarlo al valor obtenido en el proceso de dimensionamiento (0,830).

Con todo ello se han obtenido unas formas con las siguientes características:

Eslora total "L_T"	272,20 m
Eslora en la flotación "L_F" (2)	265,31 m
Eslora entre perpendiculares "L" (2)	260,00 m
Manga de trazado "B"	47,00 m
Puntal de trazado "D"	24,40 m
Calado de proyecto "T"	16,80 m
Abscisa centro de carena "X_b" (1) (2)	8,31 m
Posición longitudinal del centro de carena "X_b" (1) (2)	3,1
Abscisa c.d.g. de la flotación "X_F" (1) (2)	- 1,76 m
Coeficiente de bloque "C_b" (2)	0,830
Coeficiente de la flotación "C_{wp}" (2)	0,912
Coeficiente de la maestra "C_m" (2)	0,997
Coeficiente prismático longitudinal "C_p" (2)	0,833
Longitud del cuerpo cilíndrico "L_p"	40 (% de L)
Ángulo de entrada en la flotación "α" (2)	51 °
Volumen de carena (2)	170.442 m ³
Desplazamiento "Δ" (2)	174.683 ton

(1): Valores positivos a proa de la cuaderna maestra.

(2): Referidos al calado de proyecto " T "



Análisis de las formas generadas

Las características de las formas generadas difieren mínimamente con los parámetros de partida obtenidos en el cuaderno 1, concretamente difieren la eslora entre perpendiculares y el calado de proyecto que se han redondeado a 260,0 y 16,8 metros respectivamente, la posición longitudinal del centro de carena que vale 3,1 frente a 2,9, el coeficiente de la flotación "Cwp" 0,912 frente a 0,902, la longitud del cuerpo cilíndrico 40 frente a 43 y el ángulo de entrada en la flotación 51° frente a 48° , valores estos últimos muy próximos a los recomendados por las expresiones utilizadas en el proceso de dimensionamiento del buque, lo cual indica la bondad de las formas. Seguidamente se analizan los aspectos más importantes de las formas obtenidas:

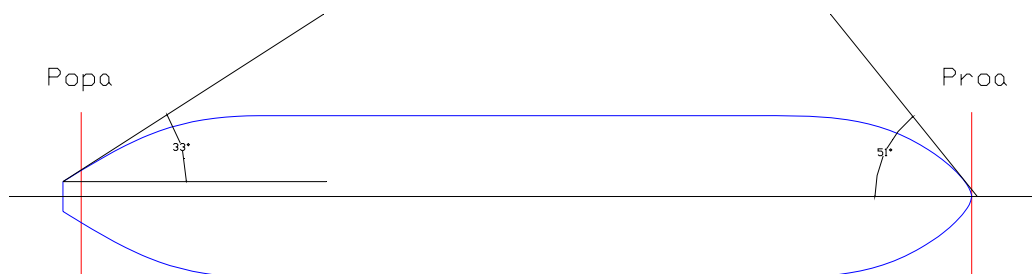
Flotación

La línea de flotación es la más característica de las líneas de agua ya que los fenómenos hidrodinámicos más importantes se producen cerca de la flotación. La zona de popa debe ser recta o ligeramente convexa con un ángulo de salida recomendado menor de 20° para evitar la separación del flujo. Por otro lado el ángulo de entrada en la flotación " α " es muy importante porque cuanto mayor sea, el buque producirá más perturbación en el agua al avanzar además de producir el fenómeno de las "olas rompientes".

Las formas que se han obtenido tienen un ángulo de entrada en la flotación " α " de 51° y un ángulo de salida de unos 33° . Éste último ángulo es superior al valor recomendado de 20° , sin embargo por debajo de la flotación las formas se van afinando por popa con ángulos cercanos a este valor recomendado, por lo que se ha tenido en cuenta el efecto de la separación de flujo en el diseño de estas formas.

Por otro lado el área total de la flotación tiene un valor de 11.143 m^2 lo que constituye un coeficiente de la flotación de 0,912, que está muy próximo al valor obtenido con las expresiones empíricas del proceso de dimensionamiento (0,902).

A continuación se presenta la zona de la flotación al calado de diseño (16,8 metros) con sus respectivos ángulos de entrada y salida.





Cuerpo cilíndrico

Las formas en esta zona son muy llenas con cuadernas en “U” y costados rectos en todo el puntal, lo que repercute en un alto valor del coeficiente de bloque, lo cual es muy característico de este tipo de buques.

La longitud del cuerpo cilíndrico calculada como porcentaje de la eslora entre perpendiculares es 40 % una cifra muy aproximada a la obtenida por fórmulas empíricas (43 %), ello implica una eslora total del cuerpo cilíndrico de 104 metros.

La longitud del cuerpo de entrada en porcentaje de la eslora entre perpendiculares es 27 %, es un valor corto como corresponde a buques lentos, por otro lado la longitud del cuerpo de salida es 33 % que es mayor al cuerpo de entrada, esto se debe a motivos hidrodinámicos para reducir en la medida de lo posible la resistencia de presión de origen viscoso.

Coeficiente de bloque

Como se dijo anteriormente una vez realizada la transformación afín de las formas de partida, el siguiente paso fue modificar el coeficiente de bloque desde un valor de 0,800, hasta 0,830 que es el valor obtenido en el proceso de dimensionamiento del buque.

Coeficiente de la maestra

El coeficiente de la maestra es consecuencia en cierta forma del coeficiente de bloque, debe cuidarse el valor de este coeficiente para que en la curva de áreas no se formen hombros demasiado agudos que provocan separación de flujo y por tanto un drástico aumento de la resistencia del buque.

En este caso este coeficiente tiene un valor de 0,997 lo que demuestra lo llenas que son las formas en la zona del cuerpo cilíndrico.

Coeficiente prismático longitudinal

Este coeficiente está condicionado por los valores del coeficiente de bloque “Cb” y del coeficiente de la maestra “Cm” ya que se cumple que:

$$C_p = \frac{C_b}{C_m}$$

Para el buque proyecto este coeficiente vale 0,833, un valor muy normal para buques lentos con valores altos de los coeficientes de formas.

Posición longitudinal del centro de carena

En los buques lentos como es el caso de este proyecto, el número de Froude es bajo y por tanto lo es la resistencia por formación de olas que es un fenómeno que sobre todo se da en la proa, lo que interesa realmente en este tipo de buque es la popa, que debe ser relativamente fina ya que lo más importante es la resistencia viscosa.



Por ello a igualdad de desplazamiento el centro de carena debe situarse a proa de la cuaderna maestra, en este caso, este punto se sitúa una distancia de 8,06 metros (3,1 % de la "L") a proa de la cuaderna maestra, valor que se acerca mucho al recomendado por las expresiones utilizadas en el Cuaderno 1 (2,9 %).

Desplazamiento y volumen de carena

El desplazamiento del buque al calado de proyecto es de 174.683 toneladas; Es destacable el grado de aproximación que se ha obtenido con el desplazamiento calculado en el proceso de dimensionamiento para la alternativa seleccionada, 174.834 toneladas, lo que supone una desviación de sólo un 0,08 %. Este desplazamiento es consecuencia de un volumen de carena de 170.422 m³.

La gran similitud del desplazamiento estimado en el Cuaderno 1 con el desplazamiento real indica que el proceso de dimensionamiento se ha hecho correctamente y que las dimensiones del buque obtenidas en dicho proceso pueden considerarse como óptimas.

Superficie mojada

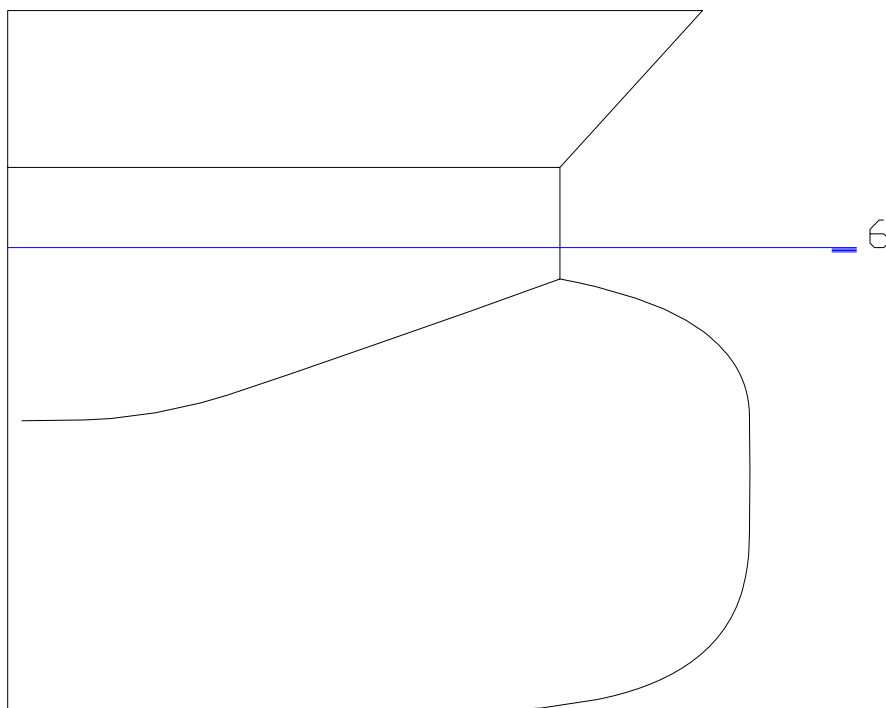
La superficie mojada del casco, sin apéndices y al calado de proyecto son 18.743 m². Este parámetro es muy importante para la estimación de la potencia propulsora necesaria del buque y será utilizado en cuadernos posteriores.



5 PERFILES DE PROA Y POPA

5.1 Perfil de proa

Seguidamente se presenta un esquema con el perfil de proa de las formas generadas:



Como puede verse en la imagen anterior la proa del buque proyecto presenta bulbo, el cual ha sido impuesto por la especificación, las características de este bulbo se analizarán con más detalle en el siguiente punto.

Debido a la inclusión de bulbo, la zona de proa presenta un codillo, resultado de la intersección de las formas redondeadas del bulbo con una zona en la que las formas tienen una sección transversal totalmente vertical. Esta zona marca la transición entre las formas tipo "U" de la parte baja del caco y las tipo "V" en que acaban por la parte superior

Con ello se consigue una distribución homogénea de las líneas de agua en esta zona dirigiéndolas hacia las zonas bajas de las formas, a la vez que se facilita y abarata la construcción del casco al incluir superficies desarrollables en la geometría del casco de esta zona.

Más arriba de la flotación, la roda es lanzada de tal forma que se consiguen alargar y estilizar las líneas de agua en esta zona disminuyendo el ángulo de entrada. Como la sección se va ensanchando conforme va siendo más alta, debe ser más larga para que, terminando más a proa pueda mantener el valor del ángulo " α " y ofrecer un ángulo de entrada adecuado a los diferentes calados del buque.



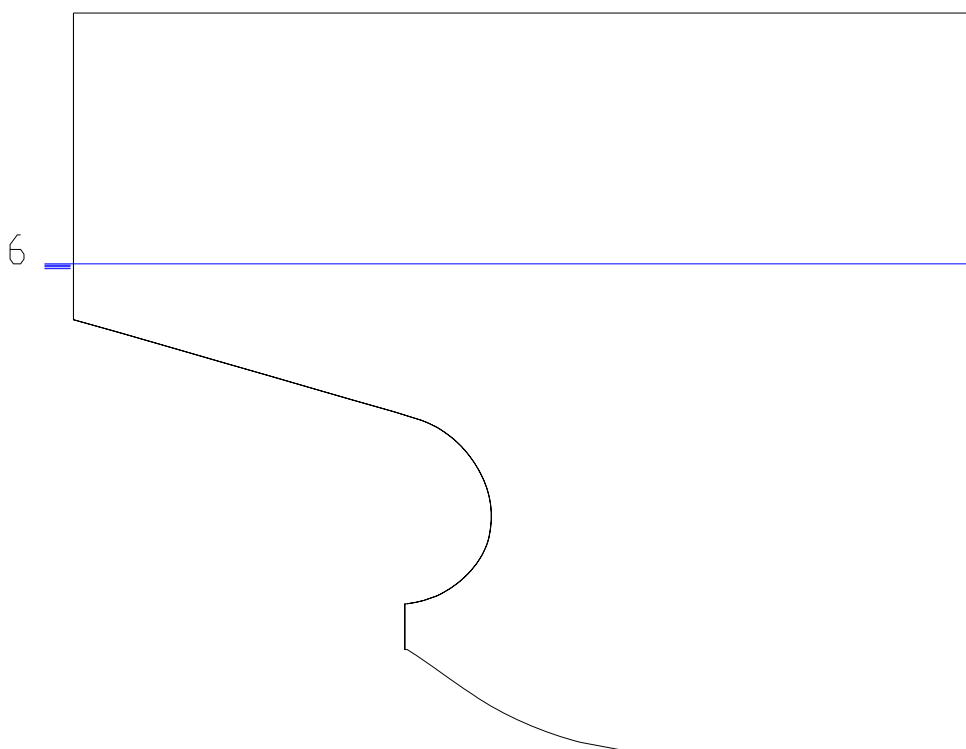
5.2 Perfil de popa

Las formas del buque en la zona de popa influyen tanto en la propulsión como en la maniobrabilidad

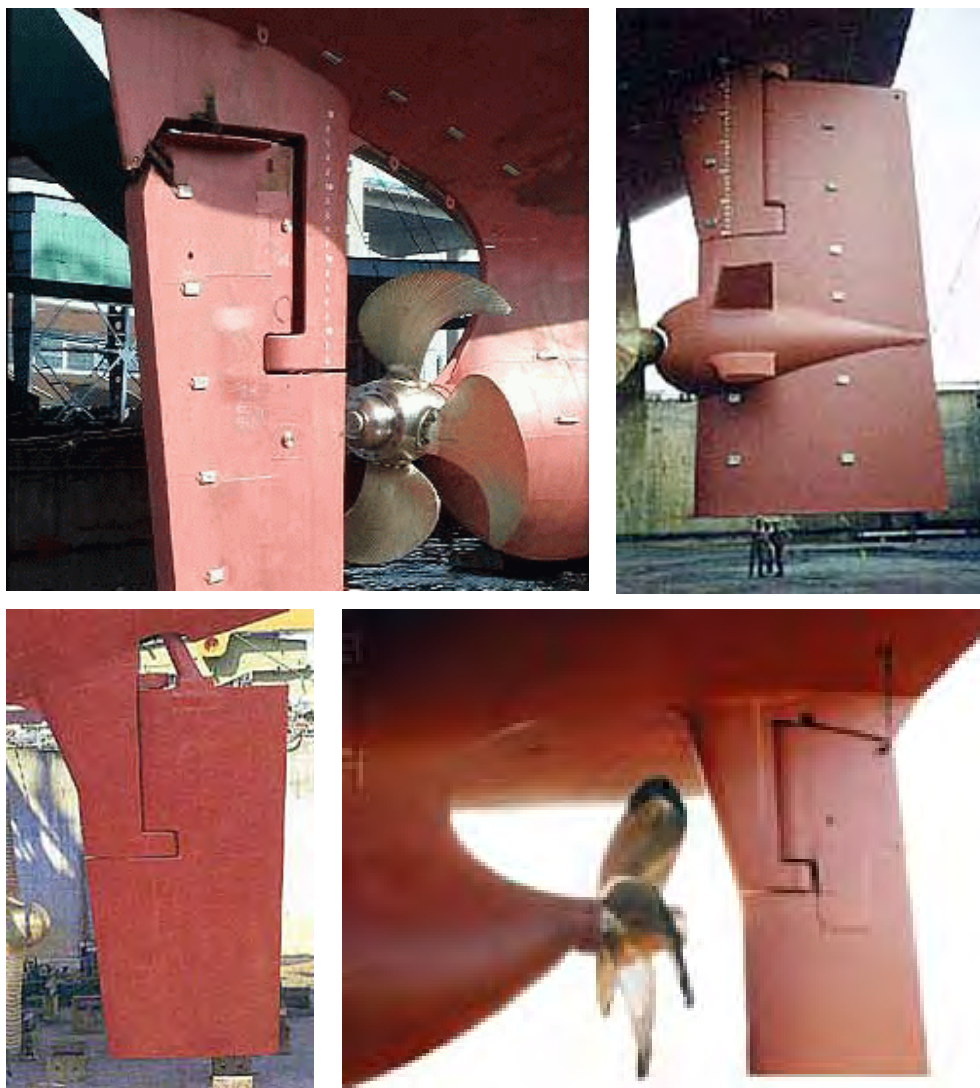
El perfil de popa es de tipo espejo, como suele ser habitual en este tipo de buques ya que presenta la ventaja de una mayor facilidad de construcción frente a otros tipos de popa.

Debido a las exigencias de la especificación se ha dotado al buque de un bulbo de popa, lo que por otra parte suele ser habitual en buques de este tipo y tamaño ya que con este bulbo se consigue un significativo aumento en el rendimiento propulsivo.

A continuación se muestra el perfil de la zona de popa de las formas generadas.



Estas formas de popa permiten instalar un timón tipo “mariner”, el cual ha sido impuesto por la especificación, El cálculo del timón se llevará a cabo en el Cuaderno 5, en las siguientes imágenes se muestran timones de este tipo.



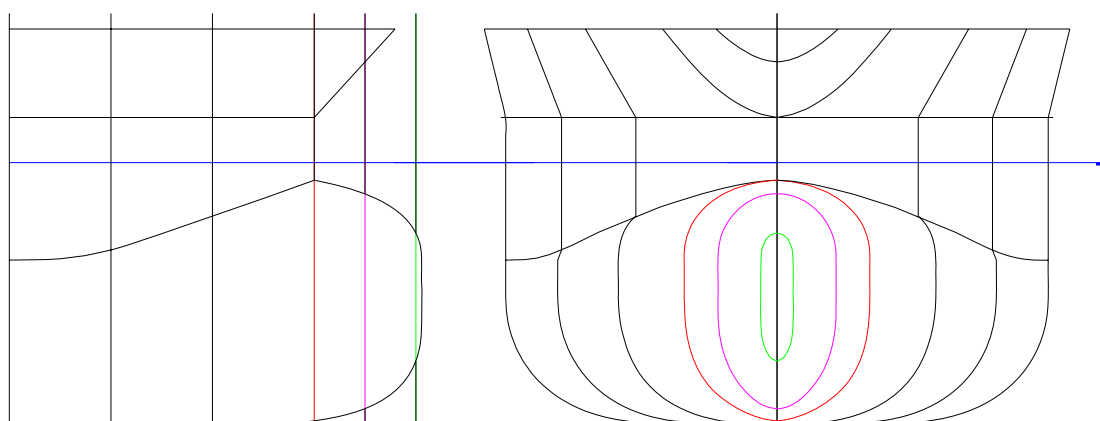


6 ANÁLISIS DE LOS BULBOS

En este punto se analizarán detalladamente los bulbos de proa y popa que presentan las formas del buque proyecto.

6.1 Bulbo de proa

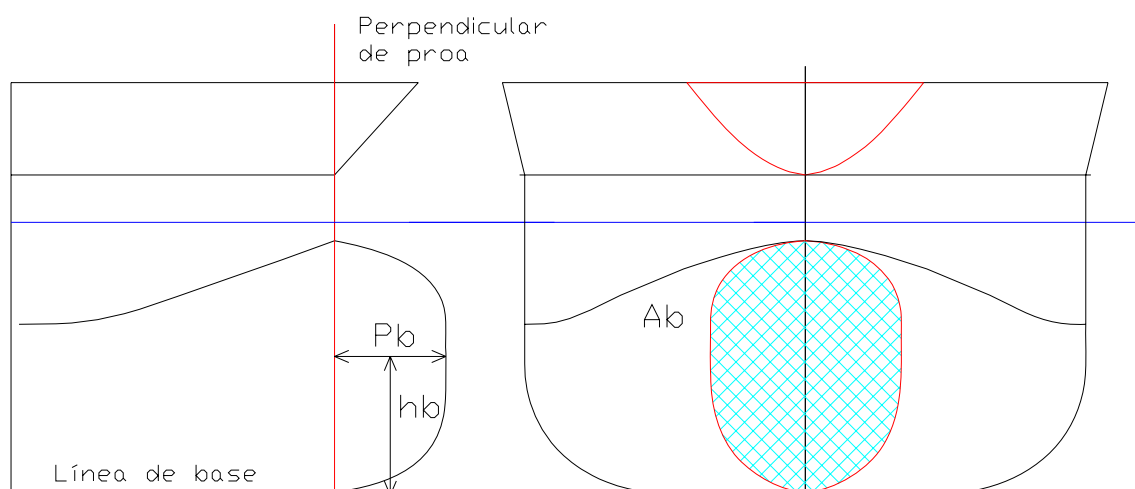
Una imagen que muestra la forma de esta protuberancia es la siguiente:



Como es sabido, el bulbo de proa es un engrosamiento de la proa en la roda, que normalmente es protuberante, es decir, se extiende por delante de la perpendicular de proa, estando situado en la parte baja de la roda.

El objetivo de este bulbo de proa es amortiguar la ola rompiente que el buque genera por su proa debido al movimiento de avance, de esta manera disminuye la resistencia viscosa y por tanto la resistencia al avance de la carena.

Existen una serie de parámetros geométricos que caracterizan el bulbo de proa y que se presentan en la siguiente figura:



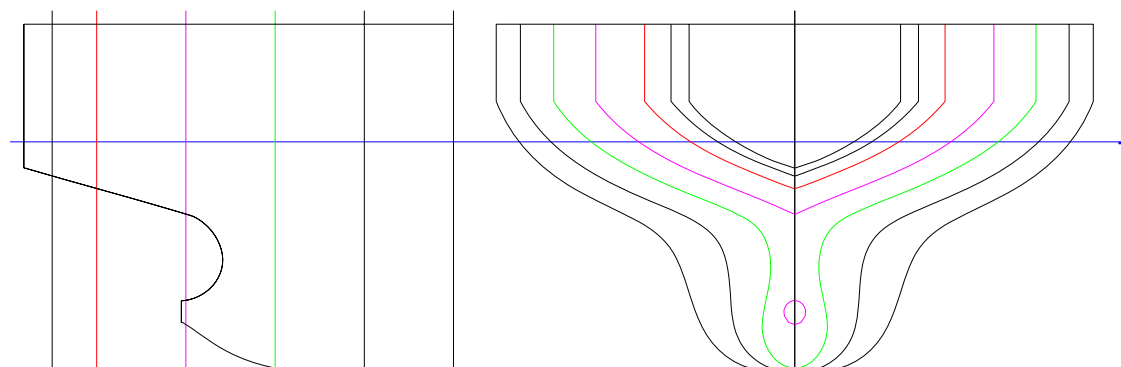


- Altura del bulbo "hb": es la ordenada sobre la línea base del punto de protuberancia máxima; generalmente "h" oscilará entre el 35 y 55% del calado máximo a proa. En este caso hb vale 8,55 metros lo que supone un 50 % del calado de proyecto.
- Protuberancia "Pb": es la abscisa del punto situado más a proa del contorno longitudinal del bulbo referido a la perpendicular de proa. Este valor suele darse adimensionalizado con la eslora en entre perpendiculares "L". La protuberancia del bulbo de proa es de 6,88 metros y su valor adimensionalizado es 0,0026.
- Área proyectada "Ab": es el área transversal del bulbo por debajo de la flotación en la cuaderna que se corresponde con la perpendicular de proa, el bulbo del buque proyecto tiene un área proyectada de 152,8 m². Este valor suele darse adimensionalizado con el área de la cuaderna maestra, para el buque proyecto este coeficiente vale 0,194.

6.2 Bulbo de popa

La función principal de este apéndice en la popa del buque es la de proporcionar a la hélice un flujo de agua lo más uniforme posible, mejorando de este modo la interacción hélice-carena y por tanto aumentando el rendimiento propulsivo.

La siguiente imagen muestra un esquema general de la forma del bulbo de popa:



Como se ha dicho antes la función principal del bulbo de popa es la de regularizar y uniformar el flujo de agua a la entrada de la hélice, mejorando así, la distribución de estela y minimizando el riesgo de cavitación y de vibraciones inducidas por el incorrecto funcionamiento del propulsor.

Cabe resaltar que, aunque en un principio el bulbo en popa produce un incremento desfavorable de la resistencia friccional, que puede originar en ciertos casos un incremento de la potencia propulsora necesaria, éste puede ser compensado por la disminución en resistencia viscosa, dando lugar a una disminución neta de la potencia propulsora necesaria.



7 CURVA DE ÁREAS SECCIONALES

La curva de áreas se obtiene representando en función de la eslora, las áreas de cada sección transversal por debajo del calado indicado. Esta curva es importante pues indica como está repartido el desplazamiento a lo largo de la eslora. El área encerrada por la curva representa el volumen de carena.

Esta área también proporciona el coeficiente prismático longitudinal “Cp”, ya que:

$$C_p = \frac{V_c}{A_M \cdot L_T}$$

Además, la posición longitudinal del centro de gravedad del área de la curva, representa la posición del centro de gravedad del volumen de carena.

Una curva de áreas óptima en esta clase de buques (lentos y de formas llenas) debe cumplir con las siguientes características:

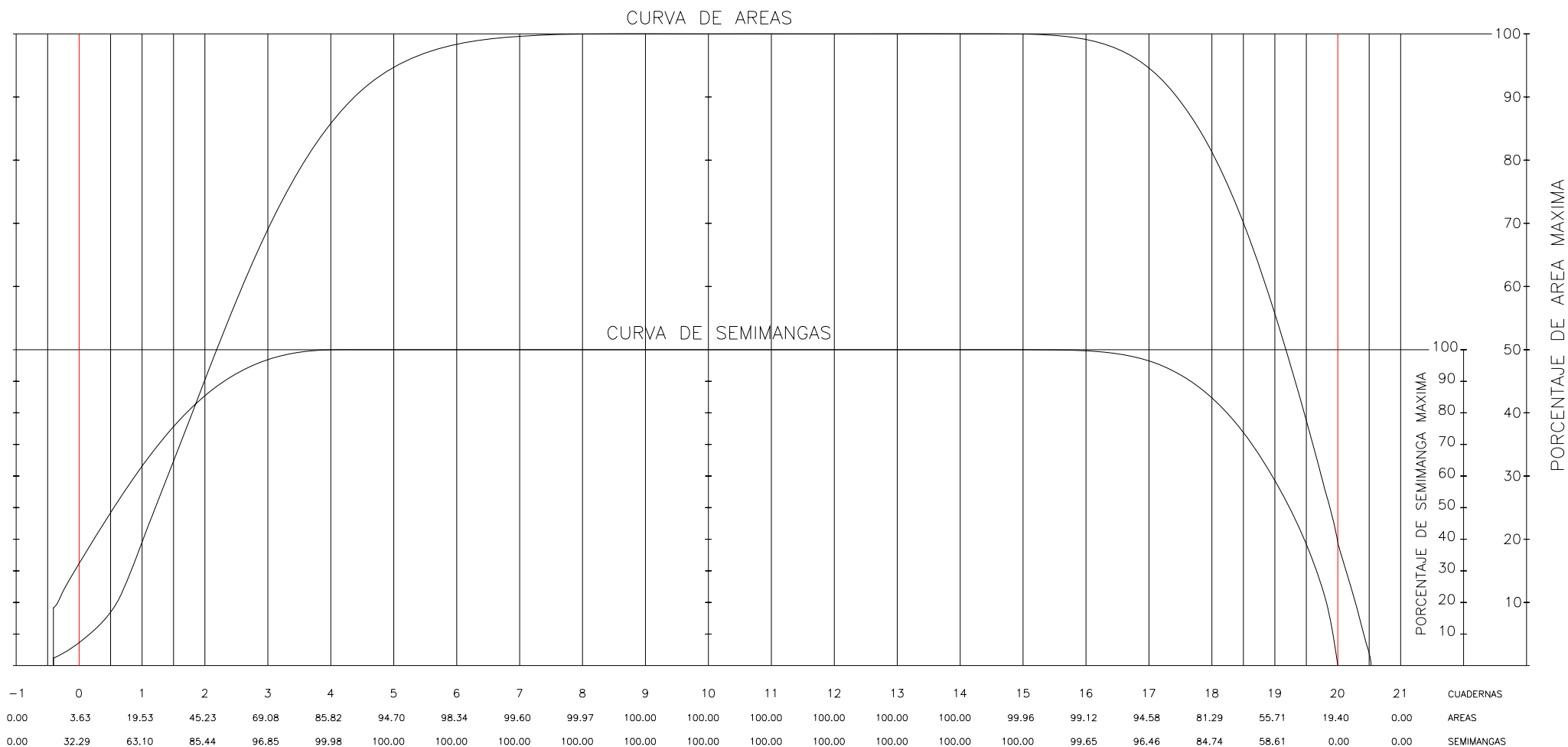
- Debe tener partes rectas claras y definidas tanto a proa como a popa.
- El radio de curvatura de los empalmes con el cuerpo cilíndrico debe ser amplio, pues radios pequeños dan lugar a desprendimiento de flujo y a sistemas de olas secundarios. Estas zonas o empalmes se llaman “hombros” o “shoulders”.
- En la zona de proa, la curva debe tener concavidad acusada, sobre todo en este caso que el buque lleva bulbo.

La curva de áreas al calado de proyecto (16,8 metros) se presenta al final de este punto, se ha obtenido en el módulo HYDROS de FORAN60. Se presentan dos curvas la primera denominada “Curva de áreas” representa el porcentaje de área de la sección máxima que hay en cada una de las cuadernas situadas en el eje de abscisas; Además, se presenta también la curva de semimangas que al igual que la otra curva, representa el porcentaje de la semimanga máxima en cada sección. Además en el eje de abscisas se presentan los valores absolutos tanto de la semimanga como del área de cada sección por debajo de la flotación, en cada una de las secciones transversales en que se ha dividido longitudinalmente el buque.

En esta curva de áreas puede verse la longitud de los distintos cuerpos (de entrada, cilíndrico y de salida), que como se ha explicado en puntos anteriores cumplen las proporciones típicas de buques de las características del buque a proyectar.

Las zonas de los hombros tienen curvaturas suaves con grandes radios para evitar el desprendimiento de flujo y las zonas de proa y popa tienen zonas rectas y bien definidas, la altura del centro de gravedad de la curva está a 45,7 % con una abscisa de 3,1% de “L” a proa de la cuaderna maestra (Cuaderna 10 del eje de abscisas).

La curva obtenida se presenta a continuación:





8 PLANO DE FORMAS

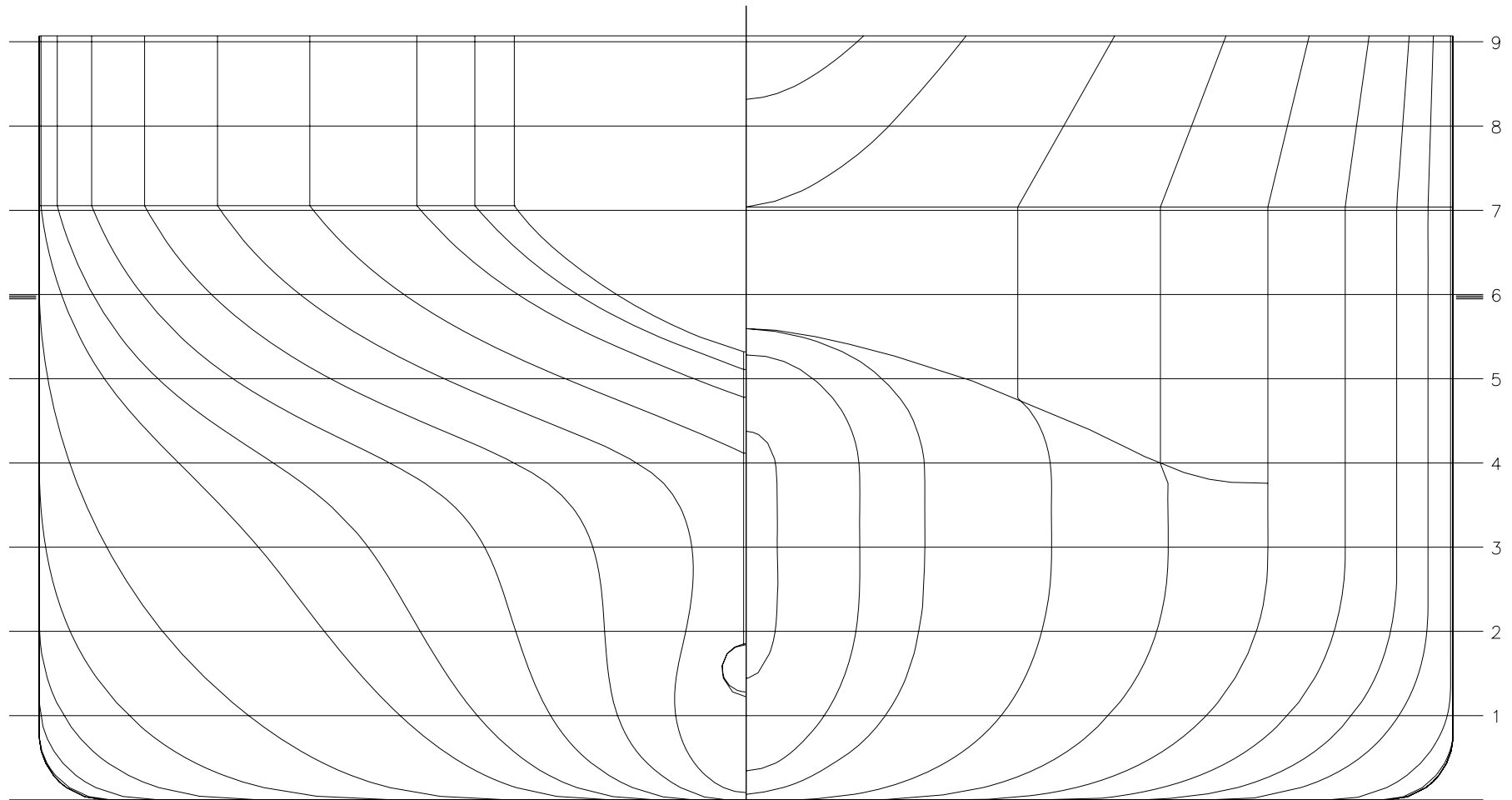
Se presenta a continuación el plano de formas obtenido del módulo DECKB de FORAN60. Se presenta la caja de cuadernas separada de los longitudinales y las líneas de agua para una mejor visualización; Además se presenta a parte un plano de formas a escala 1:300 y en formato A0.

Con estas formas generadas se irá avanzando en el desarrollo del proyecto, siendo, al igual que el resto de parametros obtenidos hasta ahora, susceptibles de ser modificadas a medida que se profundice en las distintas áreas del proyecto.

Como puede observarse, el plano de formas está graduado longitudinalmente con las claras de cuaderna de cada zona y dividido en cuadernas que es el sistema de referencia utilizado por el programa FORAN60 y que se utilizará en el desarrollo de todo este proyecto. Todos estos valores de claras y limites de cada zona se han deducido y razonado en el Cuaderno 3 de DISPOSICIÓN GENERAL.

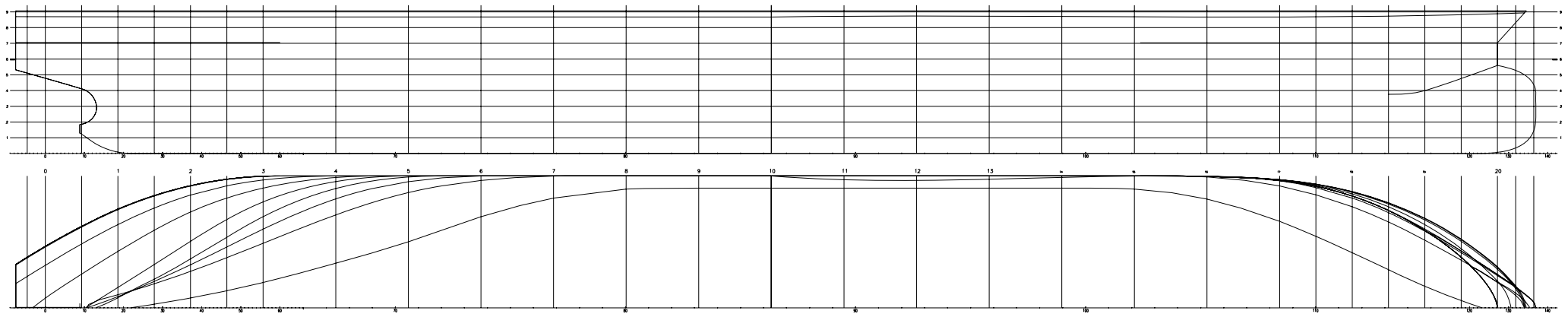


Caja de cuadernas





Perfil y líneas de agua:





9 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Durante el desarrollo de todo el proyecto se ha hecho uso de una serie de referencias bibliográficas, las cuales se enumeran a continuación:

- [1] Ricardo Alvariño Castro, Juan José Azpíroz y Manuel Meizoso..; *“El proyecto básico del buque mercante”*, Ed. Fondo Editorial de Ingeniería Naval; Pub. 2007.
- [2] Lamb, Thomas (Written by an international group of authorities); *“Ship design and construction”*, Ed. Society of Naval Architects and Marine Engineers; Pub 2004.
- [3] Holtrop, J. y Mennen G.G.J.; *“An approximate power prediction method”*, International Shipbuilding Progress; Pub 1982.
- [4] Antonio Vaquero; *“Teoría del buque. Lecciones de resistencia al avance”*, Departamento de Artes Gráficas E.T.S.I.N.; Edición 2002.
- [5] Antonio Vaquero; *“Teoría del buque. Introducción a la propulsión de buques”*, Departamento de Artes Gráficas E.T.S.I.N.; Edición 2005.
- [6] Capitán I.G. Reigadas; *“El buque tanque”*, Ediciones EDG; Pub 2004.
- [7] David G. M. Watson; *“Practical Ship Design”*, ELSEVIER OCEAN ENG. BOOK SERIES; Pub 1998.
- [8] Guillermo Ricardo Gadea; *“Los buques tanque y su clasificación”*, PETROTECNIA; Abril 2004
- [9] M.A. Meizoso, J.L. Garcés; *“Apuntes de proyectos”*, Departamento de Artes Gráficas E.T.S.I.N.
- [10] G. Pérez; *“Teoría del buque (Máquinas) Tomo II-B”*, Departamento de Artes Gráficas E.T.S.I.N.
- [11] Antonio Baquero; *“Análisis de comportamiento del buque bajo la acción del timón. Aspectos hidrodinámicos y de proyecto”*, Tesis Doctoral; Canal de experiencias hidrodinámicas, el Pardo; Publicación núm. 66. Madrid, Noviembre de 1981.
- [12] Álvaro Zurita y Sáez de Navarrete; *“Introducción al diseño de cámara de máquinas”*, Sección de Publicaciones E.T.S.I.N.
- [13] K. Van Dokkum; *“Ship knowledge, a modern encyclopedia”*, Editorial Dokmar; Pub 2003
- [14] Luis Ramón Núñez Rivas; Apuntes de clase de la asignatura “Instalaciones de vapor”, Año 2006.



- [15] Alfonso López de Asiaín Zabia; Apuntes de clase de la asignatura “Equipo y servicios”, Año 2004.
- [16] Amable López Piñeiro; *“Electricidad aplicada al buque – Diseño general de la planta eléctrica”*, Departamento de Artes Gráficas E.T.S.I.N; Pub 1999.
- [17] Amable López Piñeiro; *“Distribución eléctrica a bordo”*, Departamento de Artes Gráficas E.T.S.I.N; Pub 1999.
- [18] Manuel Meizoso Fernández y José Luis García Garcés. *“Desplazamiento. Cálculo iterativo del peso en rosca y el peso muerto”*, Departamento de publicaciones de la ETSIN; Pub Junio 2000
- [19] Manuales de FORAN60.
- [20] *“Common Structural Rules for Double Hull Oil Tankers (CSR)”* publicadas por IACS y en vigor desde el 1 de Abril de 2006
- [21] Lloyds Register of Shipping; *“Rules and Regulations for the Classification of Ships”*; Edición de 2007
- [22] Convenio SOLAS, Edición consolidada 2004.
- [23] Convenio MARPOL 73/78/90 y enmiendas.
- [24] Convenio Internacional sobre Líneas de Carga de 66/88 (Edición revisada 2005).
- [25] Convenio Internacional de 23 de Junio de 1969, sobre Arqueo de Buques hecho en Londres. En vigor desde 18 de Julio de 1982.
- [26] Lloyd’s Register of Shipping; *Lloyd’s Register Information*; <http://www.lr.org>
- [27] Base de datos de buques de Lloyd’s Register of Shipping; <http://www.sea-web.com>
- [28] Jaime Torroja Méndez. *“Apuntes de proyectos. Volumen 1”*, Departamento de publicaciones de la ETSIN; Pub 1987.
- [29] *“Standards for Oil Tanker Manifolds and Associated Equipment”*, Oil Companies International Marine Forum (OCIMF). 3rd Edition 1981.
- [30] *“Recommendations for Equipment Employed in the Mooring of Ships at Single Point Moorings”*, Oil Companies International Marine Forum (OCIMF). 2nd Edition, 1988.
- [31] *“Shipping and shipbuilding markets. Annual Review 2009”*, Barry Rogliano Salles. Pub 2009.

PROYECTO 1.731
PETROLERO PARA CRUDO 150.000 TPM

CUADERNO 3

DISPOSICIÓN GENERAL



Tutor: D. Francisco Alonso Thous

Realizado por: José Antonio Durango Ramón



CONTENIDOS

1	INTRODUCCIÓN	2
2	NOMENCLATURA	3
3	REQUISITOS DE LA DISPOSICIÓN GENERAL. REGLAMENTACIÓN A CUMPLIR	4
4	ZONA DE PROA	6
5	ZONA DE POPA.....	8
6	ZONA DE CARGA.....	9
6.1	Doble fondo	9
6.2	Doble casco	10
6.3	Longitud zona de carga. Capacidad de cántara	12
6.4	Compartimentado de la cántara. Reglamentación aplicable	12
6.5	Clara de cuadernas	14
6.6	Resumen de las características de la zona de carga	14
7	ZONAS DE MÁQUINAS.....	16
7.1	Cámara de máquinas	16
7.2	Cámara de bombas	16
8	SUPERESTRUCTURAS.....	18
8.1	Habilitación	18
8.2	Zona de Guardacalor y chimenea	33
9	ZONAS DE AMARRE, FONDEO Y LOCAL DEL SERVO	35
10	CONCLUSIONES	37
11	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	38



1 INTRODUCCIÓN

Para abordar el estudio de la disposición general del buque, éste se va a dividir en seis zonas que son:

- Zona de proa
- Zona de popa
- Zona de carga
- Zona de máquinas
- Superestructuras
- Zonas de amarre, fondeo y local del servo

Como es sabido, muchos de los aspectos relativos a la disposición general del buque son objeto de regulación, tanto por la sociedad de clasificación como por reglamentos y convenios internacionales. Siempre que se aplique una norma en el presente documento se especificará su procedencia y ubicación en el reglamento que corresponda.

El buque se va a dividir longitudinalmente en cuadernas numeradas, partiendo de la cuaderna 0 que se hace coincidir con la perpendicular de popa y llegando hasta la cuaderna 137 que es el extremo más a proa de las formas del buque, además dependiendo de la zona la separación entre cuadernas será distinta.

Además, las distancias longitudinales de los distintos elementos de la estructura se indicarán con respecto a la perpendicular de popa que se toma como origen de coordenadas en la dirección longitudinal del buque, con valores positivos a proa de la misma.



2 NOMENCLATURA

Variable	Descripción (unidades)
L_L	Eslora reglamentaria (m)
S_{Zpr}	Clara de cuadernas en la zona de proa (m)
x	Distancia longitudinal respecto a la p. de popa (m)
w_{ds}	Anchura del doble casco (m)
d_{db}	Altura del doble fondo (m)
SB_{Zcr}	Clara de bulárcamas en la zona de carga (m)
b_i	Separación mínima entre tanques de carga y casco ext. (m)
$L_{C.Tanks}$	Eslora máxima permitida para tanques de carga (m)
L_{CM}	Eslora de la cámara de máquinas (m)
L_{CB}	Eslora de la cámara de bombas (m)
MCO	Potencia del motor propulsor (HP)



3 REQUISITOS DE LA DISPOSICIÓN GENERAL. REGLAMENTACIÓN A CUMPLIR

La especificación del buque proyecto impone los siguientes aspectos referentes a la disposición general del buque:

- Cubierta corrida.
- Habitación y cámara de máquinas a popa.
- Cofferdam entre tanques de combustible y mar.
- Motor 2T lento directamente acoplado a hélice de paso fijo.
- 3 Diesel generadores, 2 calderas principales y caldereta mixta de gases de escape y mecheros.
- 12 tanques de carga + 2 de derrames.
- Capacidades:
 - Capacidad de carga: 170.000 m³.
 - Capacidad de combustible: 3.900 m³ (4,5 %; 1,5 % y 0,1% de contenido en Azufre).
- 32 cabinas individuales con baño privado + 2 cabinas dobles de reserva con baño privado y un rancho para 6 personas.
- Amarre: 18 líneas sobre carretel partido. Bitas alije (OCIMF, EXXON). Grúa de mangueras (OCIMF, EXXON).

La disposición general de los petroleros de crudo sigue unas directrices más o menos constantes con independencia de su tamaño. La definición y compartimentación de la cántara es uno de los puntos críticos del proyecto. Un esquema básico de la disposición general de esta clase de buques es:

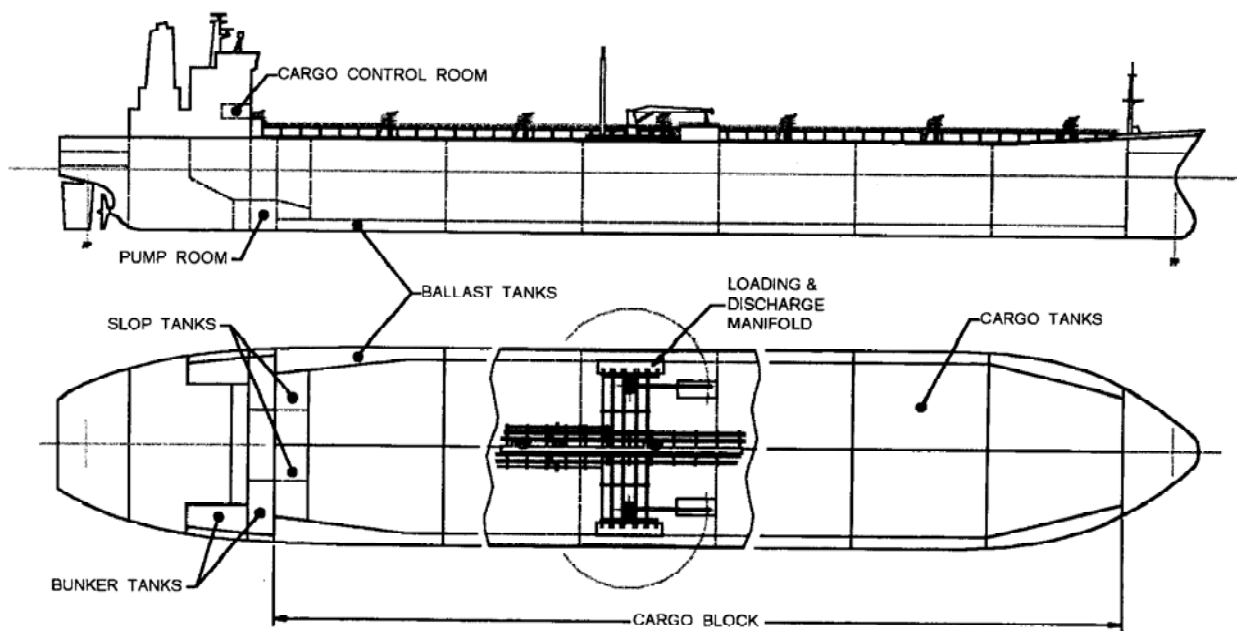


Figure 29.6 Typical Configuration of a Crude Oil Carrier



Para la definición de la disposición general del buque se van a seguir las disposiciones de los siguientes reglamentos:

- Convenio Internacional de líneas de carga 66/88 (2005)
- Common Structural Rules for Double Hull Oil Tankers (CSR) publicadas por IACS
- Convenio MARPOL 73/78/90 y enmiendas
- Reglamentos generales del Lloyds Register of Shipping.



4 ZONA DE PROA

Esta zona se extiende a proa de la zona de carga y va hasta el final del buque por su parte delantera; En el buque proyecto esta zona se utilizará para:

- Crear un compartimento de protección de la zona de carga.
- Alojarse un tanque de lastre (pique de proa) que es de gran utilidad para corregir trimados.
- Es la zona donde se sitúan los equipos de fondeo y amarre.
- Bajo cubierta se dispone un espacio que podría ser utilizado para almacenar respetos y/o herramientas de cubierta.

Esta zona está limitada por popa por un mamparo transversal estanco que va desde el fondo a la cubierta principal y de babor a estribor, la posición de este mamparo está regulada por las CSR en su regla 2.2 de la Sección 5:

2.2 Position of Collision Bulkhead

2.2.1 General

2.2.1.1 A collision bulkhead is to be fitted on all ships and is to extend to the freeboard deck. It is to be located between $0.05L_L$ or 10m, whichever is less, and $0.08L_L$ aft of the reference point, where the load line length, L_L , is as defined in Section 4/1.1.2.1 and the reference point is as defined in 2.2.1.2. Proposals for location of the collision bulkhead aft of $0.08L_L$ will be specially considered.

2.2.1.2 For ships without bulbous bows the reference point is to be taken where the forward end of L_L coincides with the forward side of the stem, on the waterline which L_L is measured. For ships with bulbous bows, it is to be measured from the forward end of L_L a distance x forward; where x is to be taken as the lesser of the following:

- (a) half the distance, from the forward end of L_L and the extreme forward end of the bulb extension
- (b) $0.015L_L$
- (c) 3.0m.

2.2.1.3 In general, the collision bulkhead is to be in one plane, however, the bulkhead may have steps or recesses provided they are in compliance with the limits prescribed in 2.2.1.1 and 2.2.1.2.

Donde L_L es la “eslora reglamentaria”, las CSR en su regla 1.1.2.1. de la Sección 4 hace referencia al Convenio Internacional de líneas de carga 66/88 donde queda definida esta magnitud en su regla 3. Para el buque proyecto la “ L_L ” es igual a 260,94 metros.

Por tanto, el punto de referencia está a 2,98 metros desde donde acaba “ L_L ” y a 3,91 a proa de la perpendicular de proa. El mamparo de colisión debe situarse en el intervalo de distancias al punto de referencia siguiente: [10,00 m ; 20,88 m].

El mamparo de colisión se situará a 7,80 metros a popa de la perpendicular de proa, a 14,70 metros del extremo más a proa del buque (zona del bulbo) y a 252,20 metros de la perpendicular de popa. De esta forma se cumple con la regla referida anteriormente.



En esta zona se empleará estructura de tipo transversal, con una clara de cuadernas "S_{Zpr}" de 0,7 metros, cumpliendo así con lo dispuesto en el Reglamento del Lloyd's Register en el Capítulo 5 de la Parte 3. Como la eslora total de esta zona es 14,70 metros y la clara de cuadernas es 0,7 metros, el número de cuadernas en esta zona es de 21, estando limitada entre las cuadernas 116 y 137.



5 ZONA DE POPA

Se ha llamado así a la zona situada a popa del pique de popa o mamparo de prensaestopas que limita la cámara de máquinas. La misión de esta zona es albergar los elementos propulsivos (hélice y eje), de maniobra (timón y servo), un tanque de lastre (pique de popa) y los tanques de agua dulce (cuatro en total).

En las CSR se hace referencia al pique de popa en la Sección 5-Regla 3.2:

2.3 Position of Aft Peak Bulkhead

2.3.1 General

2.3.1.1 An aft peak bulkhead, enclosing the stern tube and rudder trunk in a watertight compartment, is to be provided. Where the shafting arrangements make enclosure of the stern tube in a watertight compartment impractical, alternative arrangements will be specially considered. The aft peak bulkhead location on ships powered and/or controlled by equipment that do not require the fitting of a stern tube and/or rudder trunk will also be subject to special consideration.

2.3.1.2 The aft peak bulkhead may terminate at the first deck above the summer load waterline, provided that this deck is made watertight to the stern or to a watertight transom floor.

En la Regla 4.3-Parte 3-Capítulo 3 del reglamento de la sociedad de clasificación se especifica lo siguiente:

4.3 After peak bulkhead

4.3.1 All ships are to have an after peak bulkhead generally enclosing the stern tube and rudder trunk in a watertight compartment. In twin screw ships where the bossing ends forward of the after peak bulkhead, the stern tubes are to be enclosed in suitable watertight spaces inside or aft of the shaft tunnels. In passenger ships, the stern tubes are to be enclosed in watertight spaces of moderate volume. The stern gland is to be situated in a watertight shaft tunnel or other watertight space separate from the stern tube compartment and of such volume that, if flooded by leakage through the stern gland, the margin line will not be submerged. (The margin line is a line drawn at least 76 mm below the upper surface of the bulkhead deck at side).

Por tanto, se hace obligatoria la disposición del mamparo del pique de popa pero no se especifica su ubicación exacta. Esta posición normalmente se define por necesidades de lastre y por la disposición de la cámara de máquinas.

En la Referencia [1] se ha hecho un análisis de buques modernos concluyendo que la longitud del pique de popa puede estimarse en un 5% de la Eslora entre perpendiculares, para el buque proyecto este valor es 13 metros.

En esta zona, al igual que en la zona de proa, se empleará estructura transversal con una clara de cuadernas de 0,7 metros; la posición del mamparo que limita esta zona se va a fijar en 15,11 metros desde el extremo más a popa del buque puesto que por las formas del buque se necesitan más de 13 metros para cerrar por proa la bocina de la hélice, abarcando por tanto 22 claras de cuaderna con una abscisa de 9,8 metros y situado en la cuaderna número 14.



6 ZONA DE CARGA

La zona de carga, también llamada cántara, es la zona donde el buque va a alojar la carga que debe transportar. El volumen útil de esta zona es uno de los parámetros críticos en el diseño de esta clase de buques, puesto que el buque debe ser capaz de transportar el volumen de carga que ha sido impuesto en la especificación.

Los parámetros y dimensiones principales de esta zona tan importante están regulados tanto por el convenio *MARPOL* como por las normas de la sociedad de clasificación coincidiendo ambas normativas en los aspectos comunes que regulan.

Esta zona se extiende desde el mamparo de proa de la cámara de máquinas hasta el mamparo de colisión ($x = 252,20$ metros), y debe estar provista de doble casco y de doble fondo en toda su longitud, los tanques definidos por este doble casco se usarán como tanques de lastre segregado. Tanto la anchura del doble casco como la altura del doble fondo, están regulados por ciertas reglas tanto de la sociedad de clasificación (*CSR*) como de *MARPOL* como se indica a continuación:

6.1 Doble fondo

El proceso de elección de la altura del doble fondo " d_{db} " tiene una estructura similar al de la elección de la anchura del doble casco. Las reglas que regulan esta altura son la Regla 3.2 de la Sección 5 de las *CSR* y la 19-3.2 de *MARPOL* (el mismo requisito):

3.2 Double Bottom

3.2.1 Double bottom depth

3.2.1.1 The minimum double bottom depth, d_{db} , is to be taken as the lesser of:

$$d_{db} = \frac{B}{15} \quad \text{m, but not less than 1.0m}$$

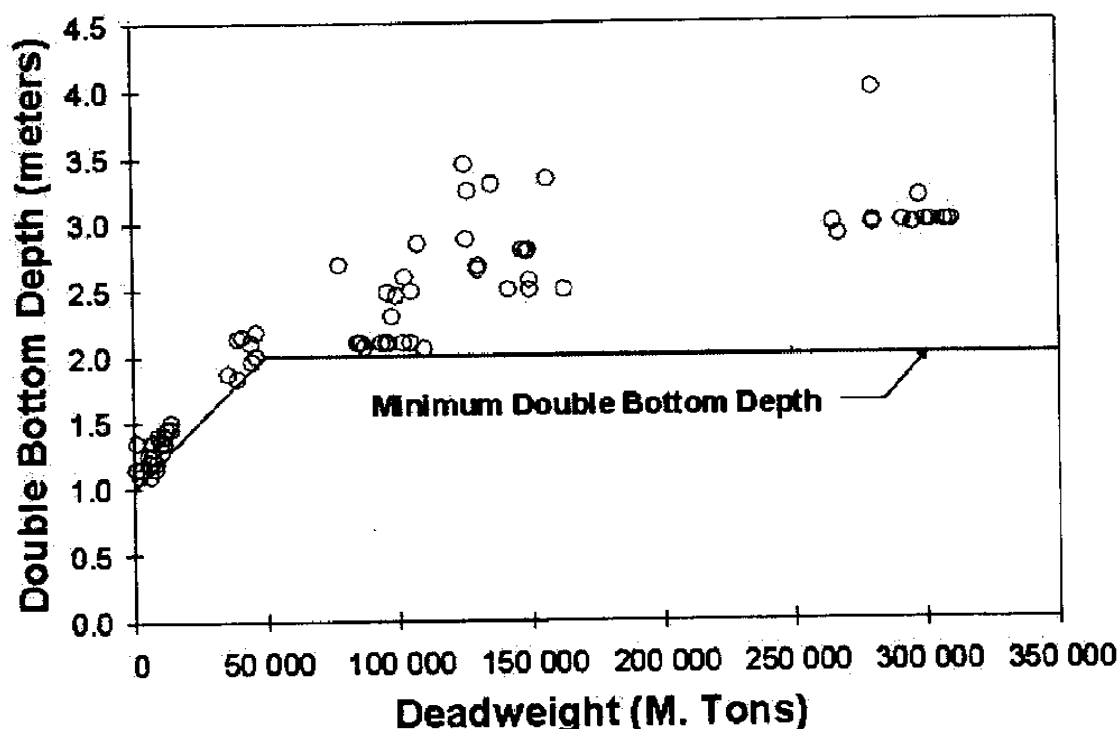
$$d_{db} = 2.0 \quad \text{m}$$

Where:

B moulded breadth, in m, as defined in *Section 4/1.1.3.1*

Para este buque $d_{db} = 2$ metros, es la mínima distancia requerida. Sin embargo por motivos de mantenimientos, reparaciones e inspecciones esta distancia es insuficiente, puesto que en todos los buques de este tipo y tamaño se toma una altura de doble fondo superior a 2 metros.

En la referencia [2] se ha encontrado un gráfico que relaciona la altura del doble fondo con el peso muerto de una serie petroleros de doble casco construidos desde 1990:



En la zona donde se sitúa el buque a proyectar, la mayoría de los buques tienen una “d_{db}” de entre 2,5 y 3,5 metros. El buque base adoptado dispone de una “d_{db}” igual a 2,80 metros, con lo que una altura de 2,60 metros parece razonable para continuar con los cálculos:

$$d_{db} = 2,60 \text{ m}$$

6.2 Doble casco

Las reglas 3.3 de la Sección 5 de las CSR y la 19-3.1 de MARPOL establecen el mismo requisito para la anchura del doble casco “w_{ds}” que es:

3.3 Double Side

3.3.1 Double side width

3.3.1.1 The minimum double side width, w_{ds}, is to be taken as the lesser of:

$$w_{ds} = 0.5 + \frac{DWT}{20000} \quad \text{m, but not less than 1.0m}$$

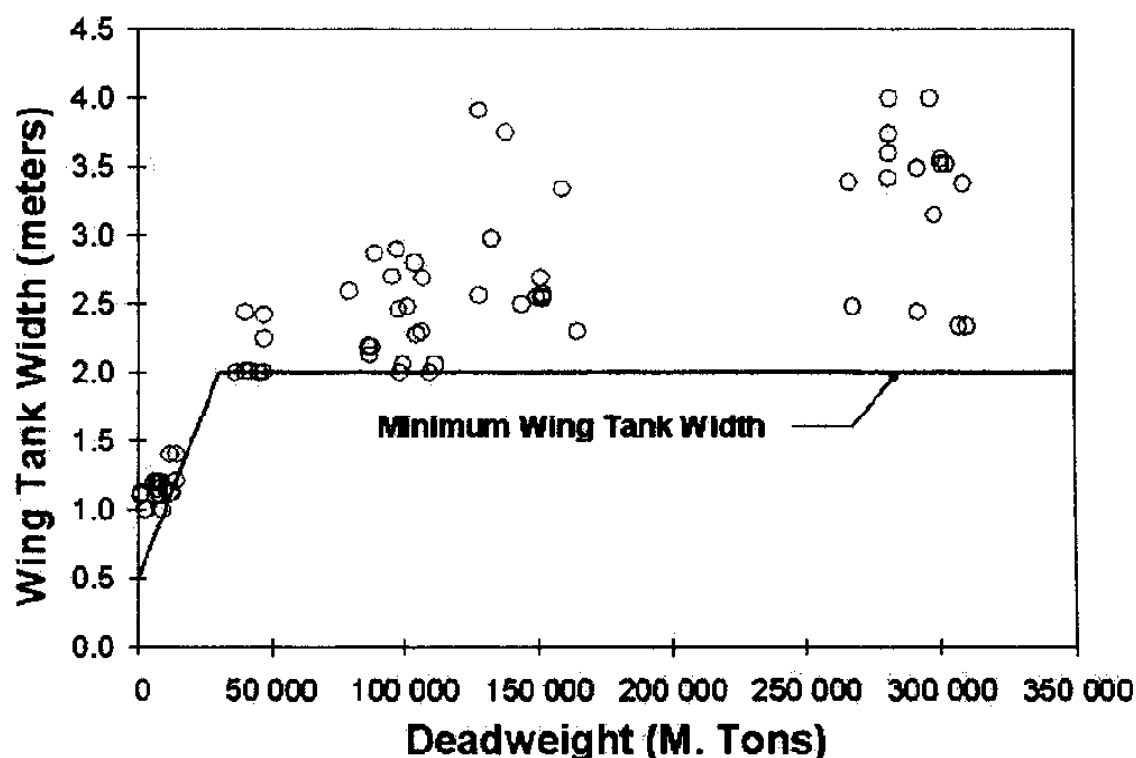
$$w_{ds} = 2.0 \quad \text{m}$$

Where:

DWT deadweight of the ship, in tonnes, as defined in Section 4/1.1.14.1



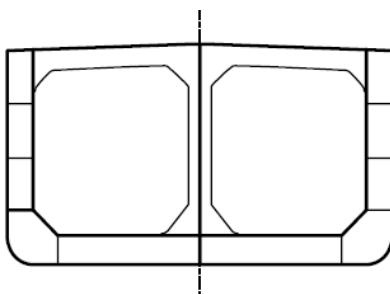
Para este buque $w_{ds} = 2$ metros, es la mínima distancia requerida por ambos reglamentos. Por los mismos motivos que en el caso del doble fondo, esta distancia suele tomarse más grande, la siguiente tabla encontrada en la referencia [2] muestra otra vez la relación entre esta magnitud y el peso muerto de los buques petroleros:



Como puede verse en la zona de peso muerto del buque proyecto (150.000 tons) ninguno de los buques tiene una anchura de 2 metros sino superior, siendo más probables anchuras cercanas a 2,5 metros. El buque base dispone de una " w_{ds} " de 2,55 metros. Con todos estos datos se decide adoptar una anchura de doble casco de 2,50 metros:

$$w_{ds} = 2,50 \text{ m}$$

La zona de transición entre el doble casco y el doble fondo se ha unido por medio de una zona plana cuya inclinación va cambiando en función de la sección con objeto de mantener entre tanques de carga y mar las distancias impuestas de doble fondo y doble casco. La disposición resultante es una de las previstas en las CSR (Sección 1 figura 2.3.1.) para este tipo de buques.





Como se dijo anteriormente, los espacios que quedan entre los tanques de carga y el costado y doble fondo se usarán como tanques de lastre. A este respecto, la regla 18-parte A del Anexo I de *MARPOL* así como la regla 3.1.2. de la Sección 5 de las *CSR* obligan a todos los petroleros de crudo con peso muerto igual o superior a 20.000 toneladas, entregados después del 1 de Junio de 1982 a ir provistos de lastre separado, cuya capacidad mínima será tal que en todas las condiciones de lastre (incluyendo el buque en rosca) se cumpla que:

- El calado de trazado en el centro del buque no será inferior a $2 + 0,02 L_L$.
- Se permite un asiento apopante no superior a $0,015 L_L$.
- El calado en popa ha de garantizar siempre la inmersión total de la hélice.
- No se transportará nunca agua de lastre en los tanques de carga (con dos excepciones relativas a la seguridad del buque).
- El lastre adicional del punto anterior solo se podrá cargar en tanques de carga lavados según la regla 35 del Anexo I de *MARPOL*.

Estos requisitos serán comprobados en el Cuaderno 9 “Situaciones de carga”.

6.3 Longitud zona de carga. Capacidad de cántara

En base a los requisitos impuestos hasta ahora en la zona de carga que son los siguientes:

- Posición del mamparo de colisión ($x = 252,20$ m) que es el límite por proa de la cántara.
- Altura de doble fondo: $d_{db} = 2,60$ m
- Anchura del doble casco: $w_{ds} = 2,50$ m

Se va a limitar por popa la cántara con un mamparo transversal, el procedimiento a seguir para ello es ir moviendo este mamparo hasta que la cántara tenga la capacidad de carga especificada en el pliego de condiciones (170.000 m^3).

La posición en la que se ha fijado finalmente el mamparo transversal que cierra la cántara por popa es $x = 46,2$ metros, cuaderna 66. Ello da como resultado una capacidad neta de carga (con grado de llenado del 98%) de 170.799 m^3 y una eslora de cántara de 206 metros lo que supone un 79% de la eslora entre perpendiculares del buque.

6.4 Compartimentado de la cántara. Reglamentación aplicable

El compartimentado de la cántara debe dar lugar a 6 tanques de carga y dos de decantación o slop, la capacidad de todos estos tanques está regulada por *MARPOL*.

Tanques slop

Su capacidad queda regulada por la Regla 29-2.3 de *MARPOL*:



2.3 El tanque o la combinación de tanques de decantación será de capacidad suficiente para retener las lavazas generadas por el lavado de los tanques, los residuos de hidrocarburos y los del lastre contaminado. La capacidad total del tanque o de la combinación de tanques de decantación no será inferior al 3% de la capacidad de transporte de hidrocarburos del buque, si bien la Administración podrá aceptar.

Pese a que el reglamento indica varias excepciones para reducir la capacidad requerida de estos tanques y que el buque proyecto podría cumplir (puede pasar de una capacidad mínima requerida del 3% de la capacidad de carga a un 1%), se adoptará un criterio conservador para cumplir con el requisito más restrictivo que es el de 3% de la capacidad total de carga lo que supone 5.123,4 m³.

La capacidad de estos tanques es de 6.008,6 m³, ambos con una eslora de 8,24 metros y situados a popa de los tanques de carga y a proa de la cámara de máquinas. Esta capacidad supone un 3,5 % de la capacidad de carga del buque con lo que se cumple el anterior requisito.

Tanques de carga

Su eslora máxima está limitada en la regla 26-4.2 de *MARPOL* y en la tabla 9.1.4. Capítulo 9 de la Parte 4 del reglamento de la sociedad de clasificación (una vez más es el mismo requisito en ambos reglamentos):

Table 9.1.4 Permissible length of cargo tanks, see 1.2.20				
Number of longitudinal bulkheads inside cargo tanks		One (on centreline)	Two	Three (one on centreline)
Length of wing cargo tank		$\left(0,25 \frac{b_i}{B} + 0,15\right) L_L$	0,2L _L	0,2L _L
Length of centre tank	$b_i \geq 0,2B$	—	0,2L _L	0,2L _L port and starboard
	$b_i < 0,2B$	—	$\left(0,5 \frac{b_i}{B} + 0,1\right) L_L$	$\left(0,25 \frac{b_i}{B} + 0,15\right) L_L$ port and starboard
NOTE The symbols L _L , B and b _i are defined in 1.5.				

“B” es la manga del buque y “b_i” es la distancia mínima entre el costado del buque y el mamparo longitudinal exterior del tanque de carga que se trate, medida perpendicularmente al plano de crujía, en el buque proyecto esta distancia coincide con la anchura del doble casco “w” que se mantendrá en toda la zona de carga.

Por tanto la eslora máxima permitida para los tanques de carga por ambos reglamentos es:

$$L_{C.Tanks} = 260,94 \cdot \left(0,25 \cdot \frac{2,60}{47,00} + 0,15\right) = 42,75 \text{ m}$$

La eslora de la cántara descontando los tanques slop es de 197,76 metros, dividiendo esta distancia entre 6, queda una eslora por tanque de 32,96 metros, valor que cumple sobradamente con el anterior requisito.



6.5 Clara de cuadernas

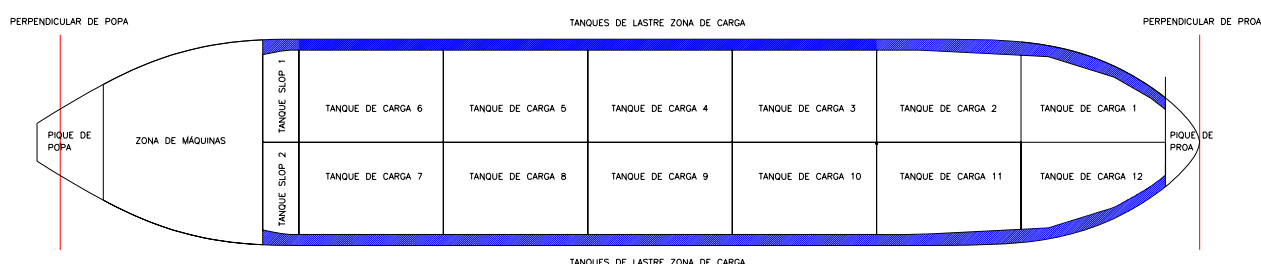
La estructura de esta zona será de tipo longitudinal. El espaciado de las Bulárcamas “SB_{Zcr}” se va a elegir en base a la longitud de la cántara para que ésta ocupe un número de bulárcamas entero y que coincidan con los mamparos transversales que separan los tanques de carga. De acuerdo a las recomendaciones de la sociedad de clasificación para todo tipo de buques (Parte 4 Capítulo 1-6.4.2.):

6.4.2 Side transverses are to be spaced not more than 3,8 m apart when the length, L , is less than 100 m and $(0,006L + 3,2)$ m apart where L is greater than 100 m.

Para este buque $SB_{Zcr} = 4,77$ m; Como la longitud total de la cántara es de 206 metros se va a adoptar una clara de bulárcamas en esta zona de $SB_{Zcr} = 4,12$ m. Por tanto el número de cuadernas que comprende la zona de carga es de 50 y se extiende desde la cuaderna 66 hasta la 116.

6.6 Resumen de las características de la zona de carga

Finalmente se presenta un resumen con las características de la cántara después del proceso de definición que se ha descrito en los puntos anteriores. Un esquema de la disposición de la zona de carga a la altura de la flotación es el siguiente:



En la tabla siguiente se presentan las características principales de cada tanque de carga con sus respectivos límites por proa y popa y su capacidad neta (al 98% de llenado):



Tanque	Banda	Límite por popa		Límite por proa		Capacidad (m ³)
		Abscisa	Cuaderna	Abscisa	Cuaderna	
1	Babor	219,24	108	252,20	116	10.532,8
2	Babor	186,28	100	219,24	108	14.297,2
3	Babor	153,32	92	186,28	100	14.665,8
4	Babor	120,36	84	153,32	92	14.665,8
5	Babor	87,40	76	120,36	84	14.648,7
6	Babor	54,44	68	87,40	76	13.635,1
SLOP 1	Babor	46,20	66	54,44	68	3004,3
SLOP 2	Estribor	46,20	66	54,44	68	3004,3
7	Estribor	54,44	68	87,40	76	13.635,1
8	Estribor	87,40	76	120,36	84	14.648,7
9	Estribor	120,36	84	153,32	92	14.665,8
10	Estribor	153,32	92	186,28	100	14.665,8
11	Estribor	186,28	100	219,24	108	14.297,2
12	Estribor	219,24	108	252,20	116	10.532,8

Por otro lado la capacidad total de los tanques de lastre de la zona de carga (dispuestos en el doble casco y doble fondo) es de 48.808,5 m³



7 ZONAS DE MÁQUINAS

La cámara de máquinas se sitúa a popa como ha sido impuesto en la especificación y como es habitual en este tipo de buques.

Para simplificar el diseño del buque, la altura del doble fondo en toda esta zona se tomará igual que en la zona de carga (2,60 metros), aunque en la zona de la bancada del motor esta altura deberá reducirse a 1,90 metros para que sea posible la alineación del eje de transmisión de potencia al propulsor. Del mismo modo, la clara de cuadernas se tomará igual que la las zonas de proa y popa (0,7 metros).

Practicamente todos los buques de este tipo disponen de una cámara de bombas para alojar el equipo de manejo de la carga y lastre, normalmente está situada en un local independiente dentro de la cámara de máquinas en la parte baja y justo a popa del mamparo que limita la zona de carga.

7.1 Cámara de máquinas

Esta zona al igual que la zona de carga dispone de doble fondo en el que hay diversos tanques , tomas de mar, pozos y cofferdams.

La longitud necesaria de la cámara de máquinas depende básicamente de la potencia de la instalación propulsora y de las dimensiones del buque, en especial de su eslora y en menor medida, del tipo de motor, cantidad y tamaño de equipos auxiliares y otras consideraciones constructivas. En la Referencia [1] aparecen unas expresiones para estimar la eslora de la cámara de máquinas en función del tipo de buque y suponiendo que está propulsado por un motor diesel de 2 tiempos directamente acoplado a la hélice (como es el caso del buque proyecto), para petroleros y quimiqueros la expresión es:

$$L_{CM} = 0,28 \cdot L^{0,67} + 0,48 \cdot MCO^{0,35} = 28,06 \text{ m}$$

Para el buque proyecto se adopta una eslora de cámara de máquinas de 34,3 metros dejando entre cántara y cámara de máquinas un cofferdam de 0,7 metros de anchura (una clara de cuaderna). Por tanto la cámara de máquinas se extiende desde la cuaderna 14 hasta la 63.

La distribución de espacios y equipos así como la disposición y capacidad de los distintos tanques de esta zona se justifican en el cuaderno 7 de proyecto.

7.2 Cámara de bombas

La cámara de bombas es en un local independiente de la cámara de máquinas y que se sitúa a proa de ésta. Este local debe ser estanco y carecer de comunicación con la cámara de máquinas, el acceso se hace mediante una escalera que comunica directamente con la cubierta principal del buque a la cual se accede a través de una caseta justo a proa de la superestructura de habilitación.



En este espacio se disponen las bombas, eyectores, filtros, válvulas y demás elementos mecánicos necesarios para la manipulación de la carga y del agua de lastre.

La cámara de bombas se extiende desde el techo de doble fondo (2,60 m) hasta la primera plataforma (5,20 m) de cámara de máquinas, y de banda a banda.

En cuanto a su eslora, en la referencia [1] se dan una serie de datos para estimar la eslora de este espacio en función de la eslora entre perpendiculares del buque. Para este caso la eslora estimada de la cámara de bombas " L_{CB} " es 4,10 metros. Aunque observando otros buques construidos este valor parece más bien escaso y se toma finalmente 6,30 metros, por lo que este local se encuentra entre las cuadernas 57 y 66.



8 SUPERESTRUCTURAS

La superestructura del buque se ha dispuesto a popa, a la altura de la cámara de máquinas. Esta superestructura se ha dividido en dos zonas, una situada a proa donde se ha dispuesto el alojamiento de la tripulación, el puente y diferentes locales y paños, en lo que se ha llamado habitación y otra zona en la que se encuentra el guardacalor y la chimenea entre otros espacios.

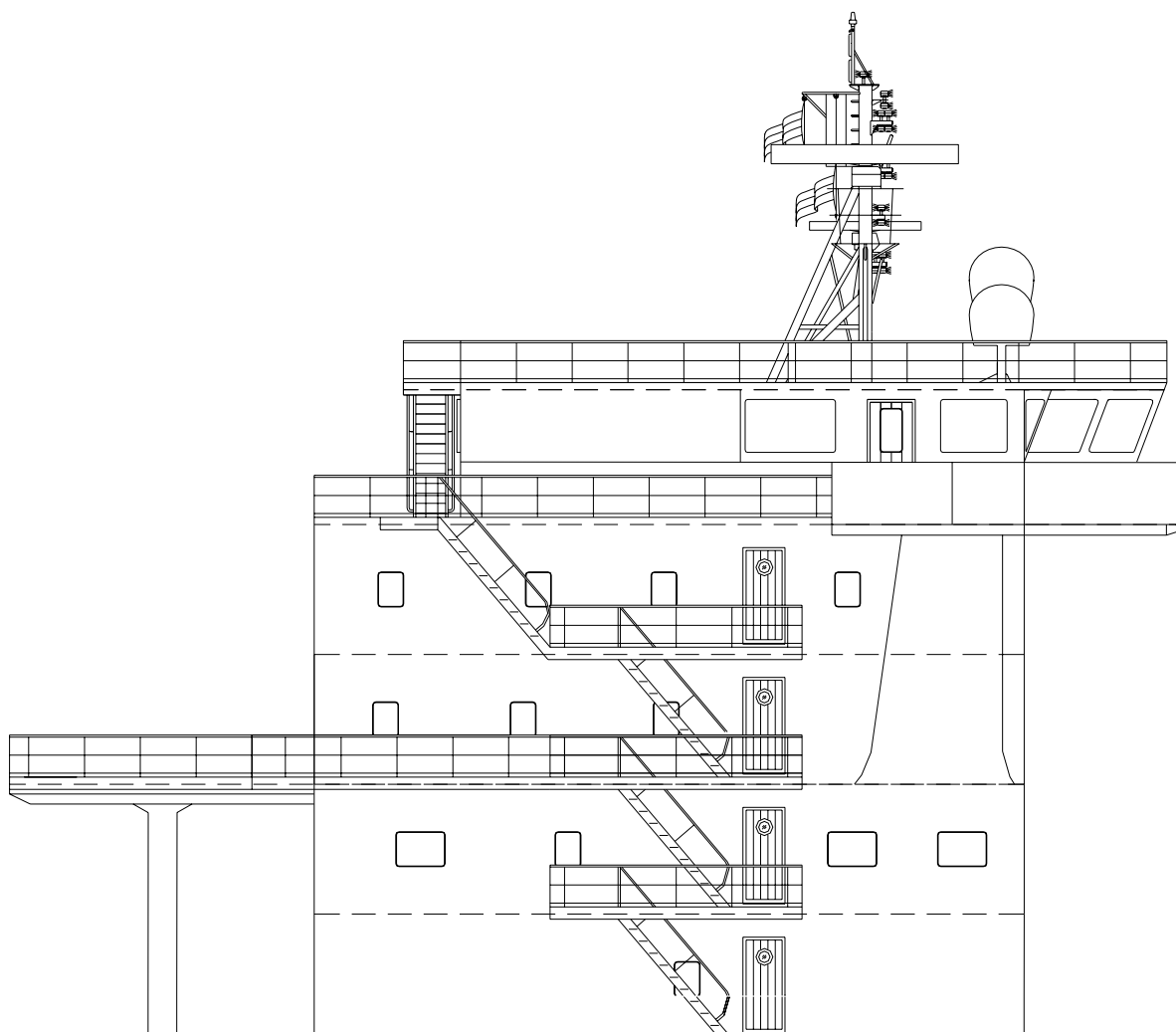
Para el diseño y distribución de espacios de la superestructura se ha tomado como referencia la superestructura del buque base y la de otros buques del mismo tipo.

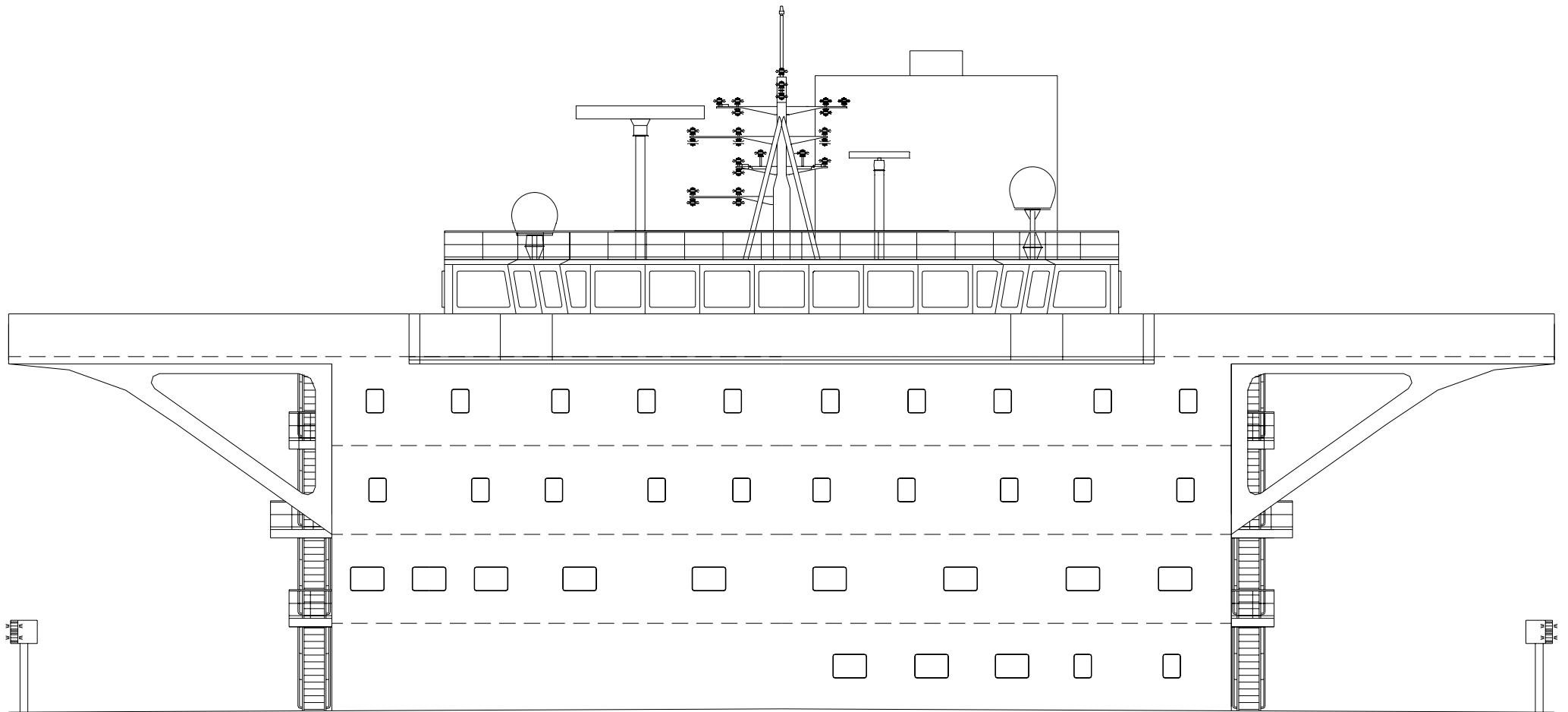
8.1 Habitación

Esta zona se sitúa sobre la cubierta principal, justo a popa de la zona de carga y sobre la cámara de máquinas. La estructura es de forma prismática, está dispuesta simétricamente con respecto al plano de crujía, tiene una eslora de 14,8 metros, una manga de 27,35 metros y una altura total (sin contar antenas y palo de luces) de 16,7 metros.

El área frontal de esta zona es 435 m², el área transversal 213 m² y tiene un volumen de espacios cerrados de 4.665,5 m³, valor éste último que se utilizará en los cálculos de arqueo en el Cuaderno 4 del proyecto.

En las siguientes imágenes se muestran las vistas de costado y de proa de esta zona del buque, tal y como se presentan en el plano de disposición general:







Se ha dividido esta zona en 6 cubiertas con una altura libre de 2,7 metros en cada una, ordenándolas desde la más alta a la más baja son las siguientes:

- Sobrepuente
- Cubierta del puente de navegación
- Cubierta de alojamiento de oficiales (Cubierta C)
- Cubierta de alojamiento de la tripulación (Cubierta B)
- Cubierta de servicios y oficinas (Cubierta A)
- Cubierta superior

Estas cubiertas están comunicadas por medio de un ascensor y escaleras tanto por el interior como por el exterior a través de los costados de la estructura.

Seguidamente se describirán brevemente cada una de estas cubiertas:

Sobrepuente

Como suele ser habitual en buques de este tipo, en esta cubierta se han dispuesto las distintas antenas de comunicaciones, radares y el palo de luces del buque.

Puente de navegación

El puente de navegación tiene forma octogonal, cuenta con ventanas al exterior en todo su perímetro y consta de un único espacio al que se accede a través del ascensor y la escalera principal interior y por 3 puertas que dan al exterior de la cubierta de puente.

En este local se han distribuido los distintos puestos para el control del buque, así como un aseo junto a la escalera principal, además se dispone de:

- zona de descanso con sillones y mesas
- Mesas donde disponer las cartas de navegación
- Estanterías
- Fuente de agua potable, nevera y cafetera
- Armarios

La cubierta de puente dispone de dos alerones que llegan justo hasta el extremo de cada costado del buque, esto es así con objeto de tener visibilidad suficiente desde la cubierta del puente de gobierno en las operaciones en las que el buque deba maniobrar.

Además, en esta cubierta se disponen dos locales cerrados e independientes a los que se accede desde el exterior, que son:

- Local de baterías
- Local de convertidores



Espacios de alojamiento (cubiertas B y C)

La especificación del proyecto ha impuesto la disposición de 32 cabinas individuales con baño privado + 2 cabinas dobles de reserva con baño privado y un rancho para 6 personas. Estos últimos camarotes se suelen utilizar para alojar a los trabajadores del canal de Suez, necesarios a bordo cuando el buque tenga que transitar por dicho canal.

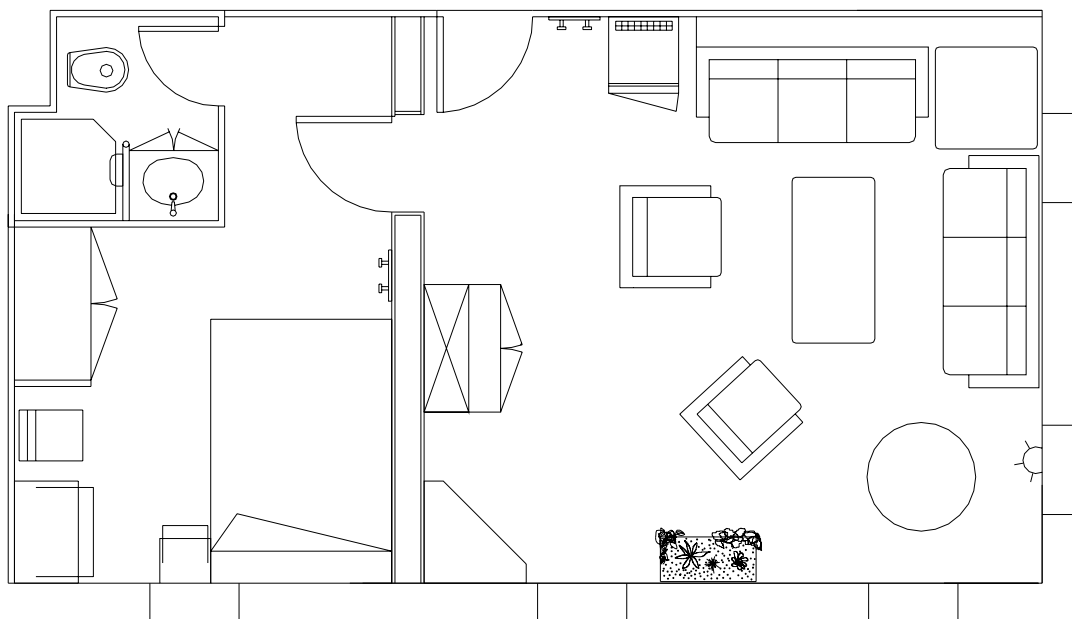
Se va a suponer una tripulación desglosada como sigue:

- Capitán
- Jefe de máquinas
- Oficiales de cubierta
 - Primer oficial
 - Segundo oficial
 - Tercer oficial
 - Piloto
 - Radio operador
- Oficiales de máquinas
 - Primer oficial
 - Segundo oficial
 - Tercer oficial
 - Oficial de carga
- Maestranza
 - Contramaestre
 - Electricista
 - Mecánico
 - Camareros (2)
- Personal subalterno
 - Engrasador
 - Caldereta
 - Marineros (8)
 - Jefe de cocina
 - Ayudante de cocina

Lo que hace una tripulación total de 28 personas, quedando por tanto 4 camarotes de reserva que podrían ser utilizados para alojar a alumnos en prácticas o un mayor número de tripulantes. Todos los camarotes disponen de al menos una ventana que da al exterior del buque y de aseo privado como se indica en la especificación.

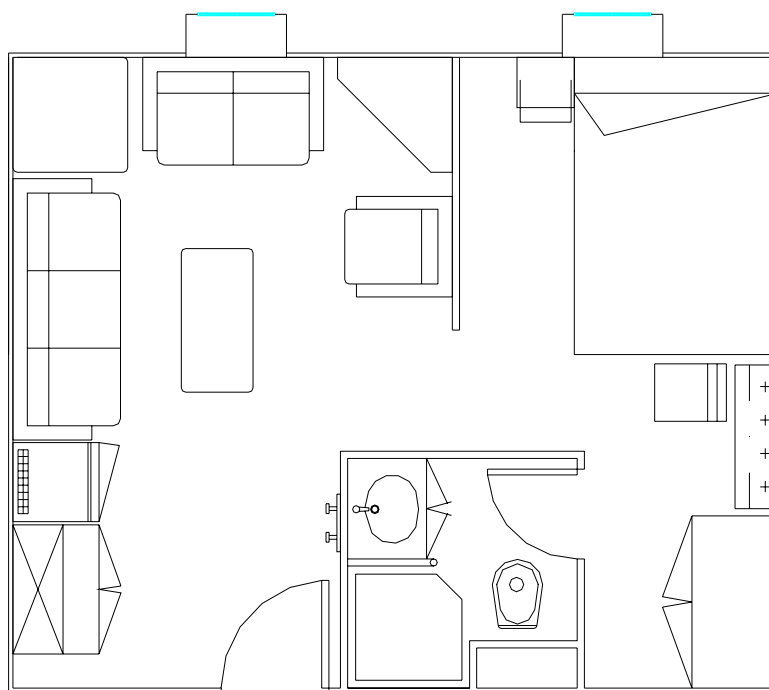
En la **cubierta C** se dispone la acomodación para el capitán, el jefe de máquinas y los distintos oficiales del buque, en esta cubierta hay tres tipos de camarotes:

1. Camarotes del capitán y jefe de máquinas, cuenta con dos salas (dormitorio y sala de estar) con una superficie total de 38,58 m², y están situados en la parte de proa y a cada costado de la superestructura, un plano que muestra la disposición de estos camarotes es el siguiente:



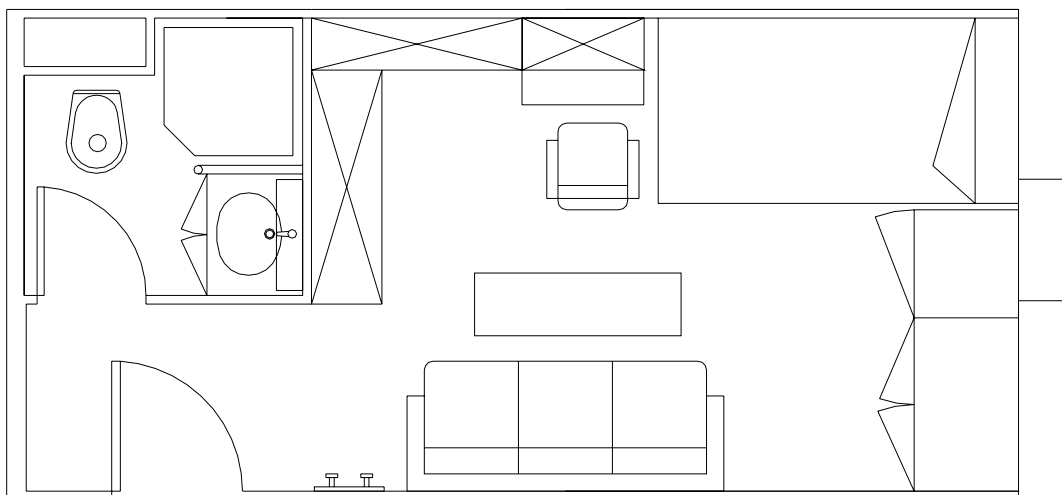
2. El siguiente tipo de camarote está pensado para los distintos oficiales, están dispuestos por toda la cubierta C. Hay dos tipos, los cuales se muestran a continuación:

Tipo 1, 6 camarotes con una superficie de 23,42 m²:

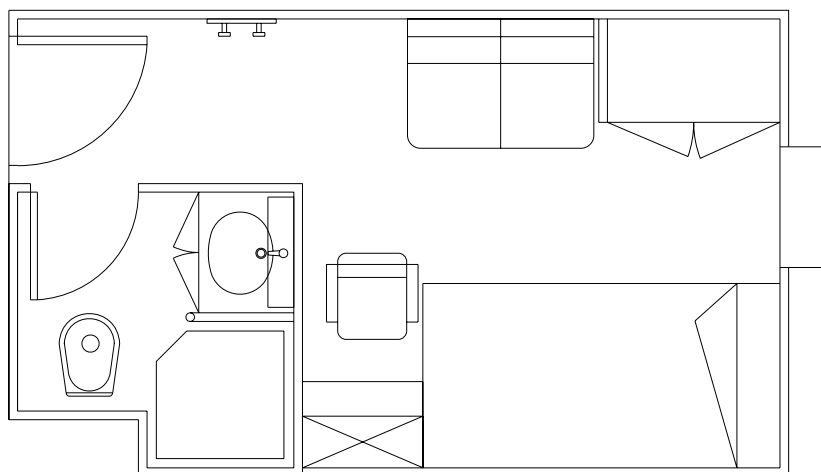




Tipo 2, son 2 camarotes con una superficie de 15,58 m²:



En la **cubierta B** se dispone la acomodación para el resto de la tripulación, en esta cubierta hay tres tipos de camarotes los Tipos 1 y 2 definidos anteriormente (3 camarotes en total) y los del resto de la tripulación, que son 18 camarotes con una superficie de 11,26 m²:



Ambas cubiertas se comunican con el exterior por medio de dos puertas simétricas respecto a crujía que dan a los costados del buque. Los espacios están comunicados por medio de dos pasillos principales, que a su vez se comunican a través de sendos pasillos secundarios, todo ello rodeando a la escalera principal y al ascensor, en los extremos de uno de estos pasillos (el que está más a proa) se sitúan las puertas para salir al exterior. Además la Cubierta B está conectada mediante una pasarela con la zona de la chimenea y el guardacalor situada a popa de la zona de habitación

Se han incluido también en las dos cubiertas de alojamiento, lavanderías (con lavadora, secadora, zona de planchado) y cuarto para el lavado y almacenamiento de la lencería de cada cubierta.



Cubierta de servicios (cubierta A)

En esta cubierta se disponen los siguientes espacios, los cuales son enumerados desde proa y de babor a estribor:

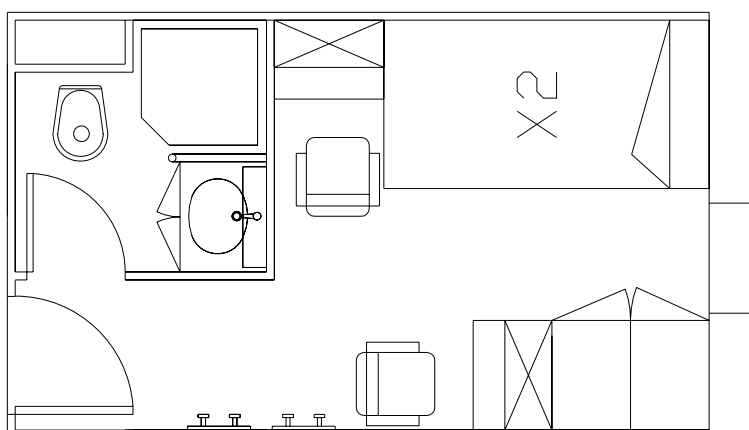
- Salón de oficiales y tripulación
- Sala de oficiales y tripulación
- Oficina del jefe de máquinas
- Oficina del capitán
- Oficina del buque
- Sala de control de carga
- Comedor de oficiales y tripulación
- Oficio de oficiales y tripulación
- Cocina
- Sala de reuniones-conferencias
- Salón de fumadores
- Cuarto de teléfono

Además se han dispuesto dos aseos en el pasillo central, uno a cada lado de la escalera y el ascensor.

La cocina se ha comunicado directamente con las gambuzas, situadas en la cubierta inferior, por medio de una escalera y un montacargas con objeto de subir las cargas desde las distintas gambuzas de forma cómoda y eficiente.

Cubierta superior

En esta cubierta se han dispuesto los espacios para alojar a los trabajadores del canal de Suez, se trata de dos cabinas dobles con una superficie de 11,51 m², el plano de este tipo de camarotes se muestra en la siguiente imagen:



Estos camarotes se han situado en la parte de proa de esta cubierta en el costado de Babor.



Además, en esta cubierta se han dispuesto los siguientes locales (enumerados de babor a estribor y empezando por proa):

- Gimnasio, con vestuario y sauna separados.
- Local de equipos eléctricos
- Local de equipos contraincendios
- Local de espuma
- Local de aire acondicionado
- Lavandería del buque
- Hospital con cuarto de baño y enfermería separados
- Pañol de cubierta (E)
- Pañol de pintura (E)
- Gambuzas:
 - Gambuza seca
 - Gambuzas refrigeradas
 - Gambuza refrigerada de pescado
 - Gambuza refrigerada de carne
 - Gambuza refrigerada de verduras
- Pañol central (E)
- Taller de cubierta (E)

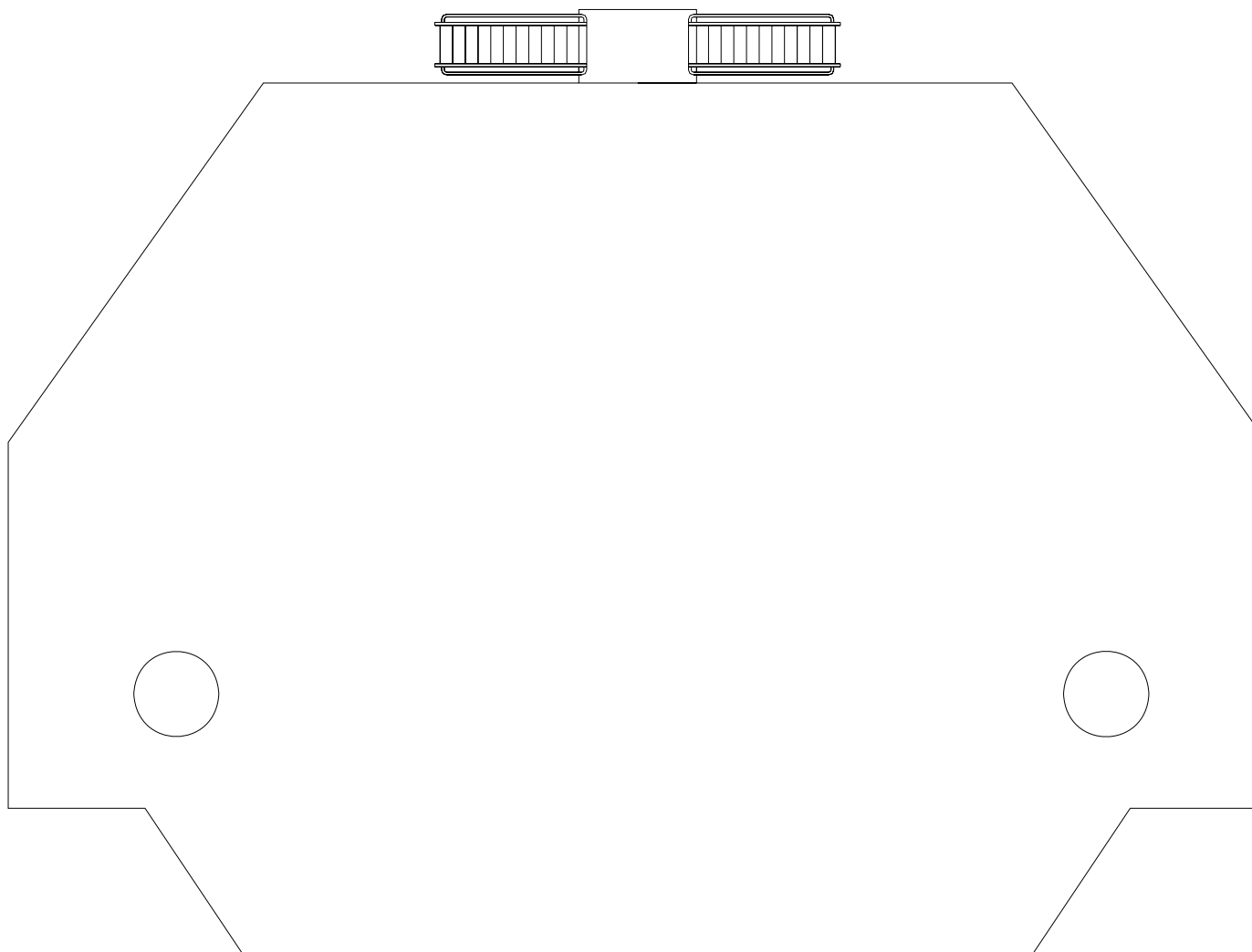
Los espacios marcados con “(E)” se comunican directamente con el exterior mediante puertas. Además el Pañol central se comunica con la gambuza seca y la lavandería del buque. Por otro lado, el taller de cubierta está comunicado con la cámara de máquinas a través de una escalera dispuesta en el interior de dicho local.

Al igual que en la Cubierta A se han dispuesto dos aseos en el único pasillo que hay en esta cubierta, uno a cada lado del ascensor y escalera principal.

Seguidamente se presentan las vistas en planta de las distintas cubiertas donde puede apreciarse mejor la distribución de los espacios enumerados anteriormente:

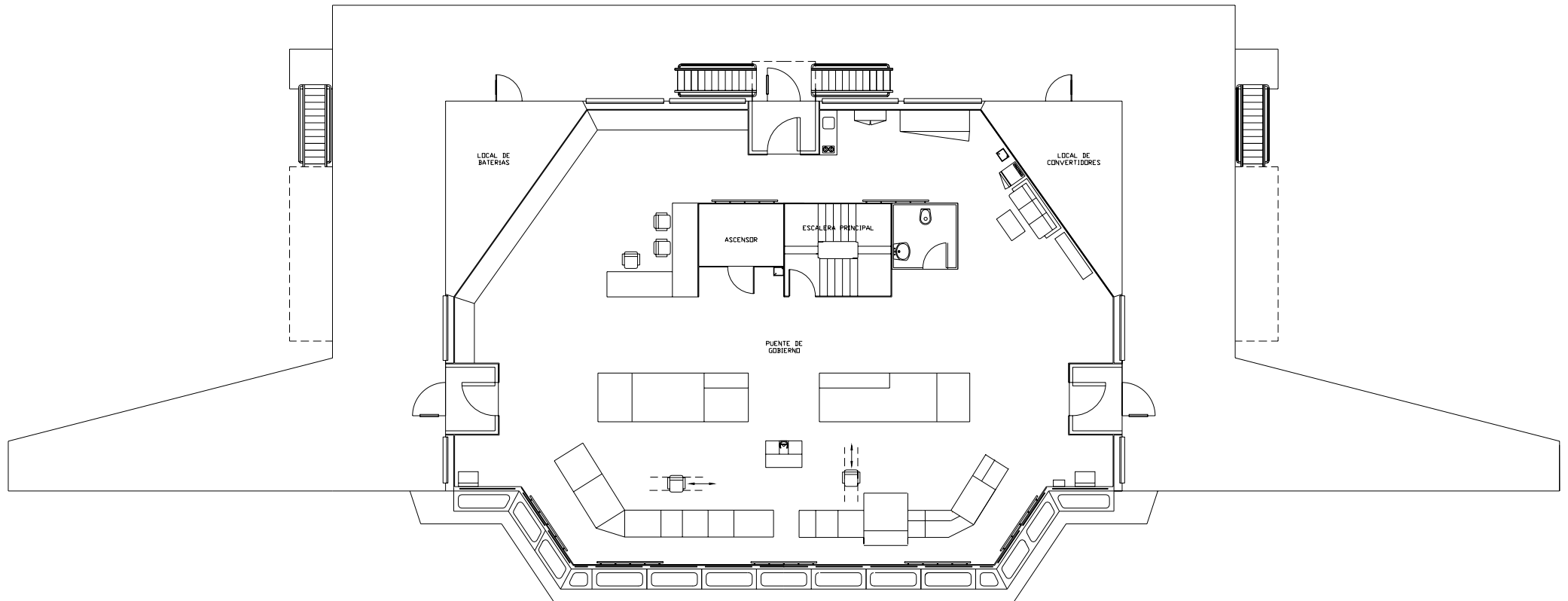


Cubierta de sobrepunte (Altura sobre la línea de base 37,90 metros)



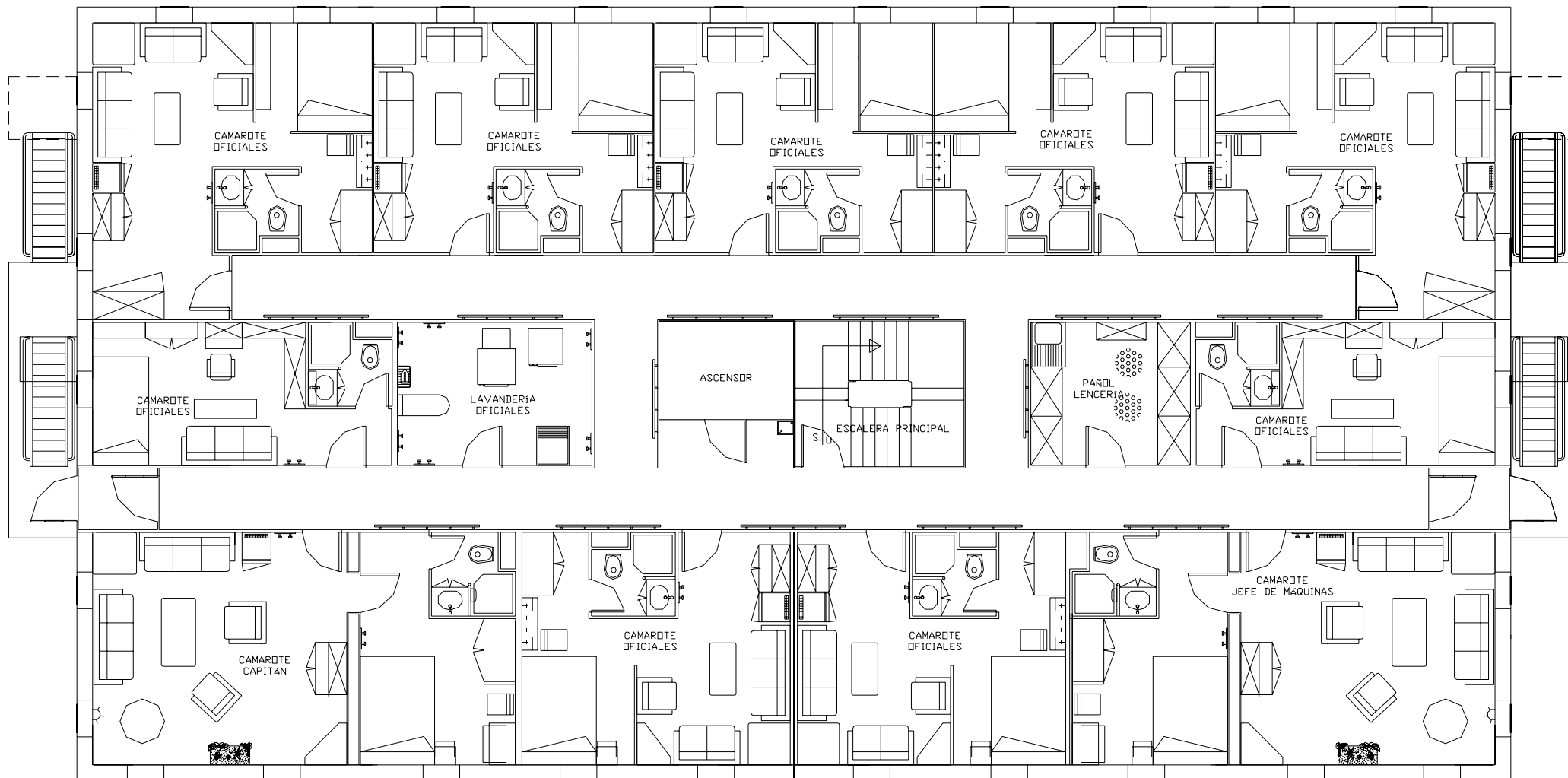


Cubierta del puente (Altura sobre la línea de base 35,10 metros)



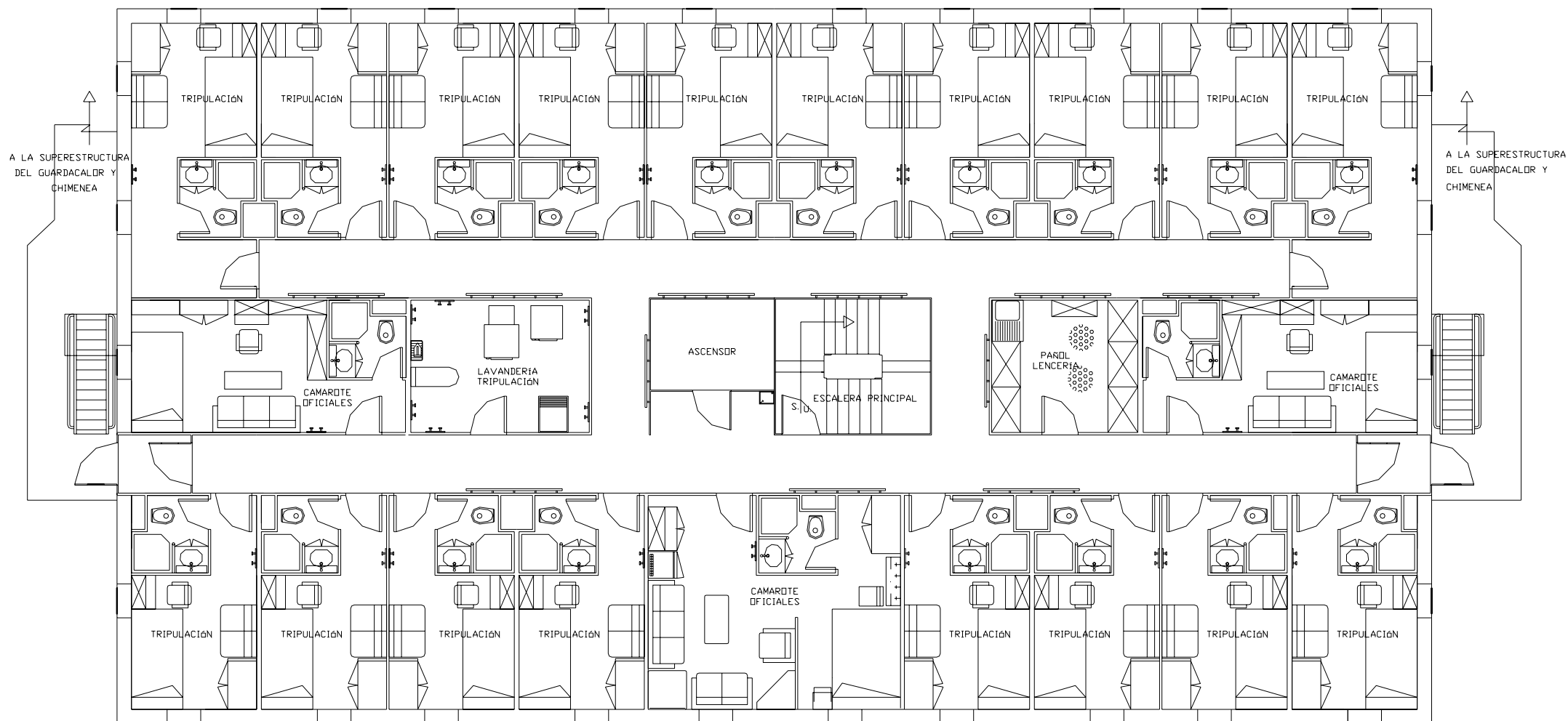


Cubierta C (Altura sobre la línea de base 32,40 metros)



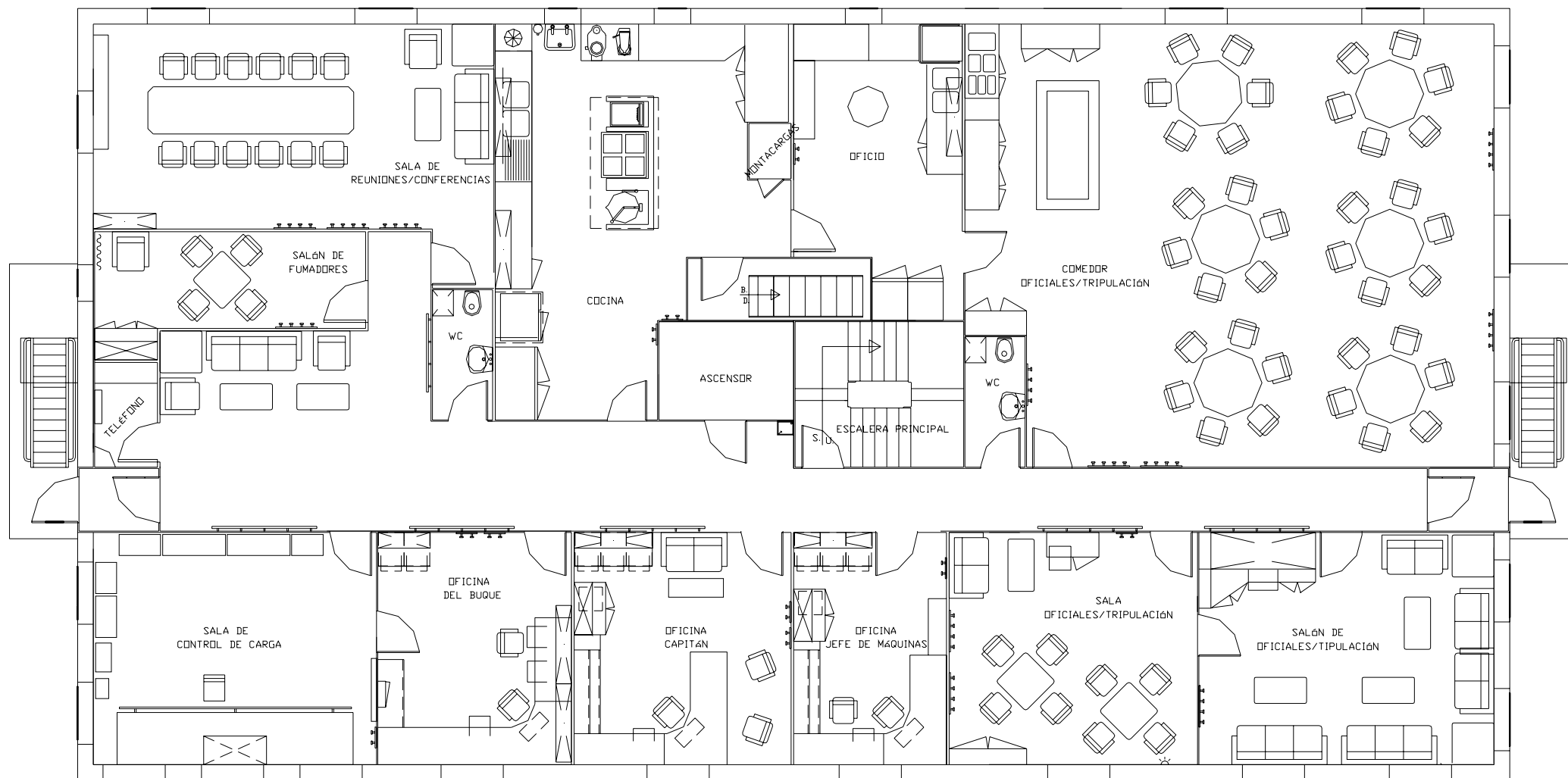


Cubierta B (Altura sobre la línea de base 29,7 metros)



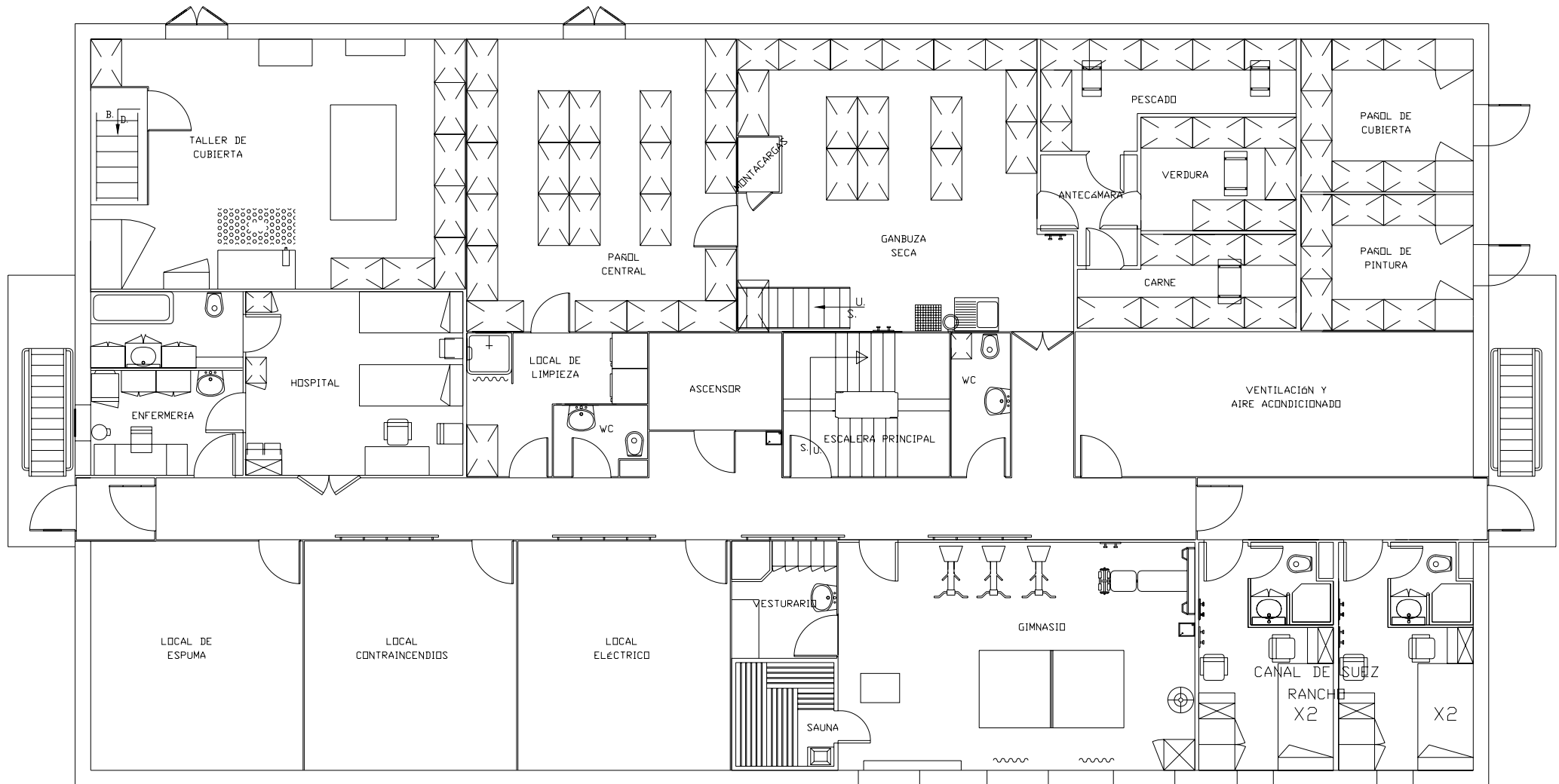


Cubierta A (Altura sobre la línea de base 27,00 metros)





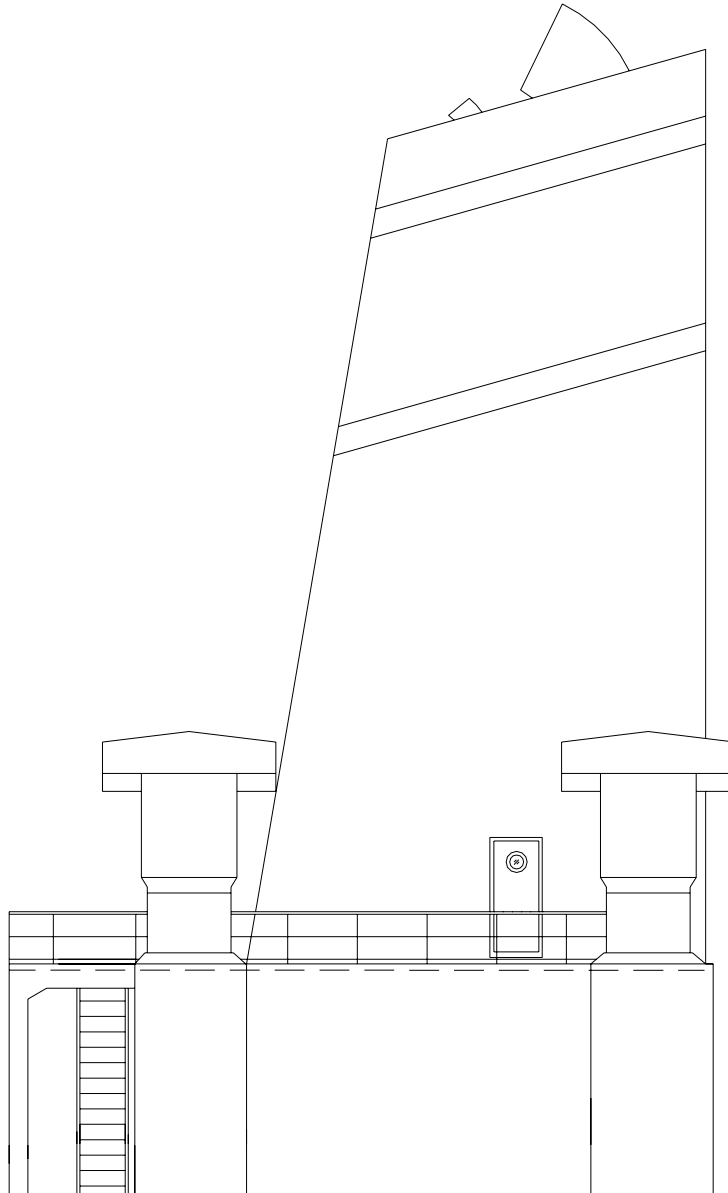
Cubierta Superior (Altura sobre la línea base 24,40 metros)





8.2 Zona de Guardacalor y chimenea

Se dispone este espacio sobre la cubierta principal del buque a popa de la habitación, y separada de la misma con el fin de evitar ruidos y vibraciones en la zona de alojamiento, tiene un área transversal de $149,6 \text{ m}^2$, un área frontal de $277,8 \text{ m}^2$ y un volumen total de espacios cerrados de $2.033,4 \text{ m}^3$. Una vista del perfil de esta zona sacada del plano de disposición general se muestra a continuación:

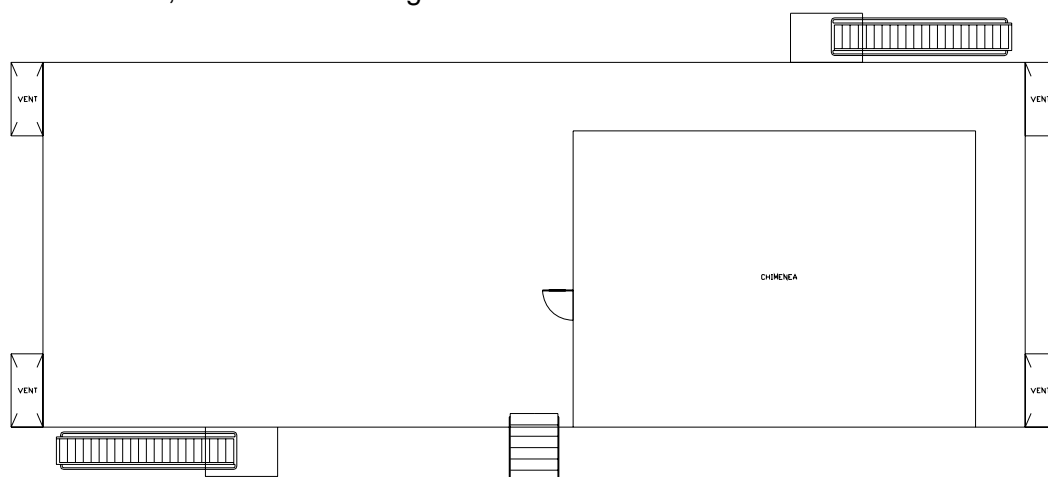


Esta superestructura puede dividirse en dos zonas que son:

- Chimenea.- Situada en el costado de babor y con forma prismática, por este conjunto de conductos se produce la exhaustación de los gases de exhaustación del motor principal, grupos generadores y calderas. Este elemento por ser el más alto y visible del buque se suele usar como elemento representativo donde se pinta el logotipo o los colores de la compañía que explota el buque. Se



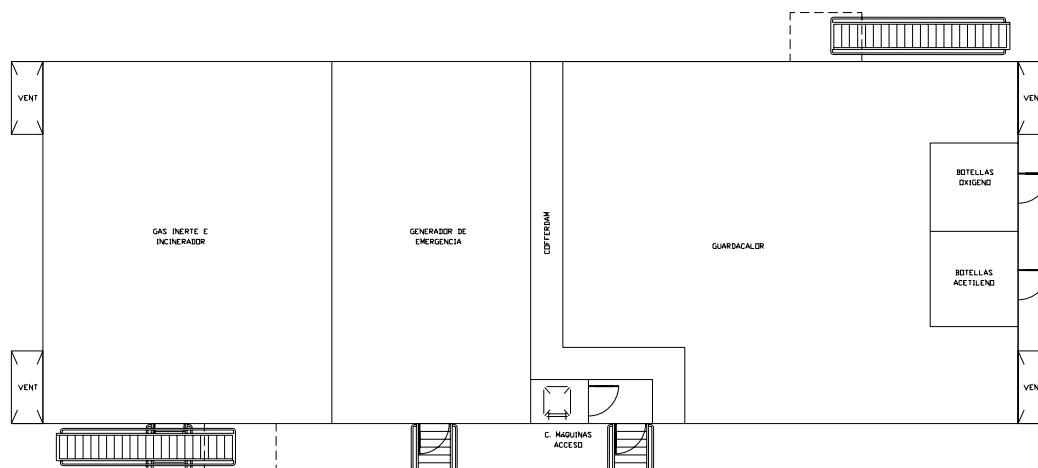
considera que la chimenea propiamente dicha arranca desde una cubierta situada a 3,92 metros de altura sobre la cubierta principal. Debajo de la chimenea se ha dispuesto el guardacalor. Un corte de esta superestructura a la altura de 3,92 metros es el siguiente:



Puede verse que a esta cubierta se accede a través de dos escaleras desde la cubierta principal y de una rampa desde la cubierta de B de la zona de habilitación.

- Guardacalor y otros locales.- Justo debajo de la chimenea se dispone el guardacalor, el cual está aislado respecto al resto de espacios de esta zona mediante cofferdams. Además en esta zona se han incluido los siguientes locales:
 - Local de botellas de oxígeno.
 - Local de botellas de acetileno.
 - Local del generador de emergencia.
 - Local del gas inerte e incinerador.
 - Acceso a cámara de máquinas desde el interior de la superestructura.

El siguiente plano muestra la distribución de estos espacios:

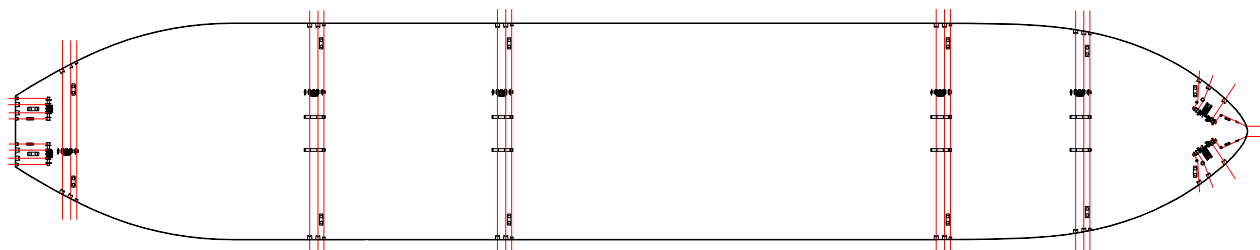




9 ZONAS DE AMARRE, FONDEO Y LOCAL DEL SERVO

Zonas de amarre

Las zonas de amarre se disponen en la cubierta principal a lo largo de toda la eslora del buque tal como se muestra en la siguiente imagen:



El sistema consiste en siete maquinillas de amarre + 2 sistemas de tambores acoplados a los molinetes de ancla, para hacer un total de 18 líneas de amarre que es un requisito de la especificación. Además en cada maquinilla se ha acoplado un cabirón que hace posible el manejo manual de los cabos de amarre.

El sistema se ha descrito con detalle en el punto 3.3 del Cuaderno 10 de proyecto (Equipo y servicios).

Local del servo

Este local se dispone justo debajo de la cubierta principal en el extremo de popa y a la misma altura que la tercera plataforma de la cámara de máquinas. El dimensionamiento del servomotor se ha llevado a cabo en el cuaderno 5 de proyecto (punto 5).

En él se encuentra la maquinaria necesaria para el accionamiento y control del timón que básicamente consiste en dos motores electrohidráulicos (uno de ellos de respeto) con una potencia nominal de 79,00 kW. Además, en este espacio se disponen las estaciones de potencia electrohidráulica de la maquinaria de amarre de la cubierta principal (zona de popa).

A este espacio se accede desde la tercera plataforma de cámara de máquinas a través de una puerta estanca.

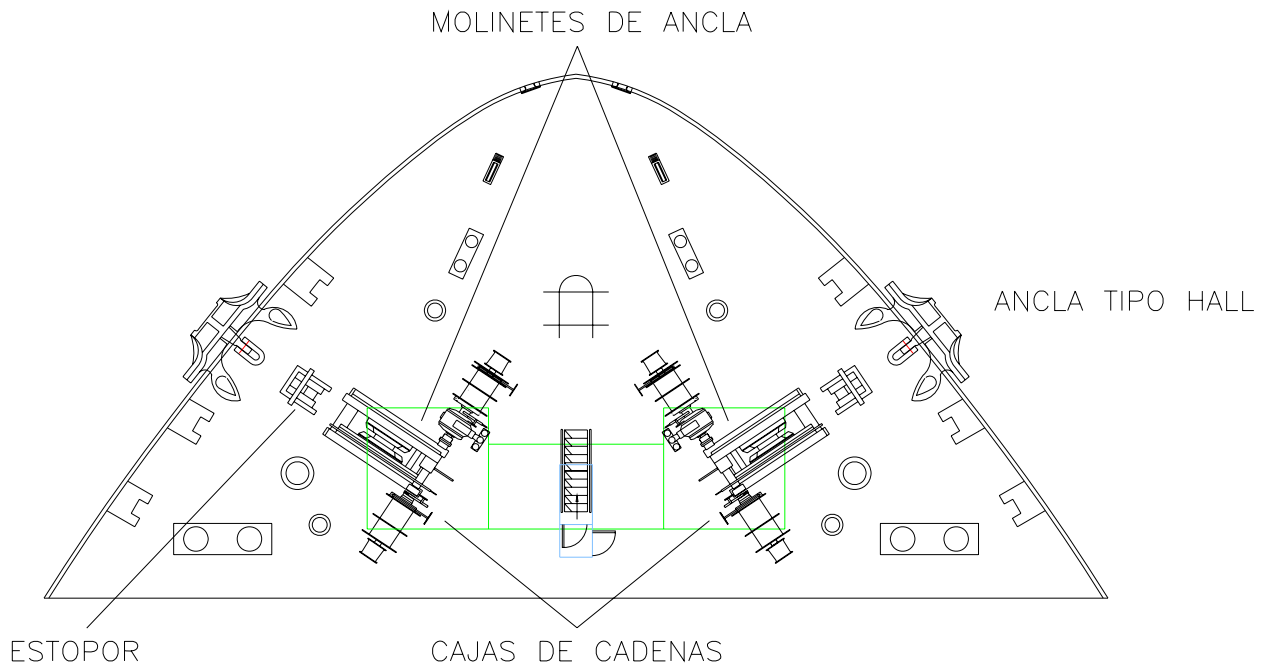
Zona de fondeo

En la zona de proa se dispone el equipo de fondeo, el cual ha sido definido según los criterios de la sociedad de clasificación en el punto 3.2 del cuaderno 10 de proyecto, este equipo está compuesto por los siguientes elementos:



- Anclas: Dos anclas tipo Hall (+ 1 de respeto) con un peso unitario de 16,9 toneladas.
- Cadenas de ancla: Son de acero grado “U2” con una longitud de 385 metros y un peso de 105 toneladas.
- Molinetes de anclas: Son molinetes monoancla electrohidráulicos con una potencia unitaria de 427,33 kW.
- Cajas de cadenas: Son compartimentos para la estiba de la cadena que se sitúan justo debajo de los molinetes de anclas, tienen una capacidad de 72 m³ cada uno.

Como se ha dicho, la zona de fondeo se sitúa en el extremo de proa del buque, la siguiente imagen muestra la situación y distribución de los elementos descritos en esta zona del buque:





10 CONCLUSIONES

Una vez definida la disposición general de todos los espacios del buque ya se pueden realizar ciertos cálculos relativos a las características hidrostáticas, potencia propulsora, estabilidad en averías, arqueo, etc. Los cuales se realizarán en los siguientes cuadernos de proyecto.

Un resumen de la disposición general se presenta a continuación:

La zona de carga o cántara dispone de doble casco y doble fondo en toda su longitud cumpliendo con los requerimientos de IMO. A popa de los tanques de carga se disponen dos tanques de decantación (slop).

El buque no dispone de castillo de proa, ya que la altura de la cubierta principal sobre la flotación en carga se lo permite (Reglamento de francobordo – Cuaderno 4) y bajo la cubierta principal se ha dispuesto un local que hace las veces de pañol. El pique de proa lleva en su interior la caja y pozo de cadenas. En el centro del buque y sobre la cubierta principal, va dispuesta la zona del servicio de carga, a través de la cual se carga/descarga el buque. El servicio de manejo de las mangueras de carga está atendido por una grúa electro-hidráulica de 15 toneladas.

La cámara de bombas está situada a popa de la cántara. Lleva instaladas, entre otras, tres turbobombas centrífugas de 3.500 m³/h, disponiéndose los elementos de accionamiento fuera de este local y dentro de la cámara de máquinas.

La cámara de máquinas va situada a popa y la superestructura está dividida en dos secciones, de manera que la sección de proa, que incorpora los alojamientos de la tripulación, queda aislada de la zona de guardacalores y chimenea que, por su naturaleza, es zona generadora de ruido, calor y vibraciones. Dispone de camarotes individuales para 36 personas y dos dobles para el personal del canal de Suez.

La superestructura de proa contiene además el puente de gobierno, y en la cubierta del puente dispone de alerones autosoportados que se extienden hasta los costados del buque para facilitar el control visual de las faenas de amarre.

El motor propulsor será diesel de 2 tiempos y directamente acoplado a una hélice de palas fijas. Lleva instaladas dos calderas de vapor de 42 t/h. El codaste es de tipo abierto, como suele ser habitual, para buscar distanciar al máximo las palas de la hélice del casco del buque con objeto de evitar vibraciones. El timón es de tipo colgado semi-compesado y soportado por un cuerno ("mariner").

A popa de la superestructura se dispone el equipo de amarre. Las balsas salvavidas y el bote de rescate van dispuestos en los costados, a la altura de la superestructura de proa, y en cuanto al bote salvavidas, de tipo cerrado y de caída libre, se dispone de una sola unidad en una rampa de lanzamiento en la popa del buque.

La disposición general del buque se presenta en un plano a parte en formato A0 y a escala 1:350.



11 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Durante el desarrollo de todo el proyecto se ha hecho uso de una serie de referencias bibliográficas, las cuales se enumeran a continuación:

- [1] Ricardo Alvariño Castro, Juan José Azpíroz y Manuel Meizoso.; *“El proyecto básico del buque mercante”*, Ed. Fondo Editorial de Ingeniería Naval; Pub. 2007.
- [2] Lamb, Thomas (Written by an international group of authorities); *“Ship design and construction”*, Ed. Society of Naval Architects and Marine Engineers; Pub 2004.
- [3] Holtrop, J. y Mennen G.G.J.; *“An approximate power prediction method”*, International Shipbuilding Progress; Pub 1982.
- [4] Antonio Vaquero; *“Teoría del buque. Lecciones de resistencia al avance”*, Departamento de Artes Gráficas E.T.S.I.N.; Edición 2002.
- [5] Antonio Vaquero; *“Teoría del buque. Introducción a la propulsión de buques”*, Departamento de Artes Gráficas E.T.S.I.N.; Edición 2005.
- [6] Capitán I.G. Reigadas; *“El buque tanque”*, Ediciones EDG; Pub 2004.
- [7] David G. M. Watson; *“Practical Ship Design”*, ELSEVIER OCEAN ENG. BOOK SERIES; Pub 1998.
- [8] Guillermo Ricardo Gadea; *“Los buques tanque y su clasificación”*, PETROTECNIA; Abril 2004
- [9] M.A. Meizoso, J.L. Garcés; *“Apuntes de proyectos”*, Departamento de Artes Gráficas E.T.S.I.N.
- [10] G. Pérez; *“Teoría del buque (Máquinas) Tomo II-B”*, Departamento de Artes Gráficas E.T.S.I.N.
- [11] Antonio Baquero; *“Análisis de comportamiento del buque bajo la acción del timón. Aspectos hidrodinámicos y de proyecto”*, Tesis Doctoral; Canal de experiencias hidrodinámicas, el Pardo; Publicación núm. 66. Madrid, Noviembre de 1981.
- [12] Álvaro Zurita y Sáez de Navarrete; *“Introducción al diseño de cámara de máquinas”*, Sección de Publicaciones E.T.S.I.N.
- [13] K. Van Dokkum; *“Ship knowledge, a modern encyclopedia”*, Editorial Dokmar; Pub 2003
- [14] Luis Ramón Núñez Rivas; Apuntes de clase de la asignatura “Instalaciones de vapor”, Año 2006.



- [15] Alfonso López de Asiaín Zabia; Apuntes de clase de la asignatura “Equipo y servicios”, Año 2004.
- [16] Amable López Piñeiro; *“Electricidad aplicada al buque – Diseño general de la planta eléctrica”*, Departamento de Artes Gráficas E.T.S.I.N; Pub 1999.
- [17] Amable López Piñeiro; *“Distribución eléctrica a bordo”*, Departamento de Artes Gráficas E.T.S.I.N; Pub 1999.
- [18] Manuel Meizoso Fernández y José Luis García Garcés. *“Desplazamiento. Cálculo iterativo del peso en rosca y el peso muerto”*, Departamento de publicaciones de la ETSIN; Pub Junio 2000
- [19] Manuales de FORAN60.
- [20] *“Common Structural Rules for Double Hull Oil Tankers (CSR)”* publicadas por IACS y en vigor desde el 1 de Abril de 2006
- [21] Lloyds Register of Shipping; *“Rules and Regulations for the Classification of Ships”*; Edición de 2007
- [22] Convenio SOLAS, Edición consolidada 2004.
- [23] Convenio MARPOL 73/78/90 y enmiendas.
- [24] Convenio Internacional sobre Líneas de Carga de 66/88 (Edición revisada 2005).
- [25] Convenio Internacional de 23 de Junio de 1969, sobre Arqueo de Buques hecho en Londres. En vigor desde 18 de Julio de 1982.
- [26] Lloyd’s Register of Shipping; *Lloyd’s Register Information*; <http://www.lr.org>
- [27] Base de datos de buques de Lloyd’s Register of Shipping; <http://www.sea-web.com>
- [28] Jaime Torroja Méndez. *“Apuntes de proyectos. Volumen 1”*, Departamento de publicaciones de la ETSIN; Pub 1987.
- [29] *“Standards for Oil Tanker Manifolds and Associated Equipment”*, Oil Companies International Marine Forum (OCIMF). 3rd Edition 1981.
- [30] *“Recommendations for Equipment Employed in the Mooring of Ships at Single Point Moorings”*, Oil Companies International Marine Forum (OCIMF). 2nd Edition, 1988.
- [31] *“Shipping and shipbuilding markets. Annual Review 2009”*, Barry Rogliano Salles. Pub 2009.

PROYECTO 1.731
PETROLERO PARA CRUDO 150.000 TPM

CUADERNO 4

CÁLCULOS DE ARQUITECTURA NAVAL



Tutor: D. Francisco Alonso Thous

Realizado por: José Antonio Durango Ramón



CONTENIDOS

1	INTRODUCCIÓN	2
2	NOMENCLATURA	3
3	CARACTERÍSTICAS HIDROSTÁTICAS	4
4	BRAZOS DE ADRIZAMIENTO “GZ”	15
4,1	Tabla de brazos de adrizamiento	15
4,2	Gráfica de brazos de adrizamiento	17
5	CAPACIDADES Y CENTROS DE GRAVEDAD DE LOS TANQUES PRINCIPALES	18
6	CÁLCULO DEL FRANCOBORDO	25
7	CÁLCULO DEL ARQUEO	32
8	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35



1 INTRODUCCIÓN

En este cuaderno se van a obtener las características generales de las formas y la disposición general obtenidas en los cuadernos anteriores.

Primeramente se van a presentar las características hidrostáticas para una serie de calados y para distintas situaciones de trimado.

En el punto 4 se presentan los brazos de adrizamiento de la carena definida, en función de ciertos ángulos de escora y para una serie de desplazamientos, los resultados se presentan en forma tabular y en forma gráfica.

La capacidad y posición de cada uno de los tanques son el resultado de todas las consideraciones asumidas en la definición de la disposición general del buque (Cuaderno 3) y de la cámara de máquinas (Cuaderno 7), en el punto 5 se van a presentar los datos más significativos de todos los tanques del buque agrupados por tipo de carga.

En este cuaderno se van a detallar también los cálculos necesarios para definir el francobordo del buque-proyecto para las distintas zonas en las que el buque podría navegar. Estos cálculos se han realizado en base a lo dispuesto en el Convenio Internacional sobre Líneas de Carga de 1966 (Edición revisada 2005).

Finalmente se realizarán los cálculos de arqueo del buque proyecto según el Convenio Internacional, sobre Arqueo de Buques de 23 de Junio de 1969.



2 NOMENCLATURA

Variable	Descripción (unidades)
T_A	Calado en la perpendicular de popa (m)
T_F	Calado en la perpendicular de proa (m)
Δ	Desplazamiento (toneladas)
Disv	Volumen de carena (m^3)
X_{CB}	Abscisa del centro de carena (m)
C_P	Coeficiente prismático
C_B	Coeficiente de bloque
A_M	Área de la sección máxima (m^2)
C_M	Coeficiente de la maestra
A_{WP}	Área de la flotación (m^2)
C_{WP}	Coeficiente de la flotación
K_B	Altura del centro de carena sobre la línea base (m)
Z_{BM}	Radio metacéntrico transversal (m)
Z_{BML}	Radio metacéntrico longitudinal (m)
M_{TC}	Momento para trimar 1 centímetro (t·m/cm)
S	Área de la superficie mojada (m^2)
T_{CI}	Toneladas por centímetro de inmersión (t/cm)
G	Centro de gravedad del buque
B_T	Centro de carena al calado T
GZ	Brazo de adrizamiento (m)
KN	Brazo de palanca (m)
KG	Altura del centro de gravedad del buque sobre la línea base (m)
x	Distancia longitudinal respecto a la p. de popa (m)
θ	Ángulo de escora de la carena ($^\circ$)
L_F	Eslora de francobordo (m)
B	Manga (m)
D_T	Puntal de trazado (m)
D_F	Puntal de francobordo (m)
Cb_F	Coeficiente de bloque de francobordo
∇	Volumen de desplazamiento de trazado del buque (m^3)
H_{min}	Altura mínima en la proa exigida para los cálculos de francobordo (m)
Fb	Francobordo (mm)
GT	Arqueo bruto
NT	Arqueo neto
D_{TA}	Puntal de trazado para cálculos de arqueo (m)
B_A	Manga para cálculos de arqueo (m)



3 CARACTERÍSTICAS HIDROSTÁTICAS

Una vez definidas las formas (Cuaderno 2) y la disposición general (Cuaderno 3) del buque, se pasará a calcular todas sus características hidrostáticas, ello se ha realizado con el módulo HYDROS del programa FORAN60.

Las características hidrostáticas que se han calculado para cada condición de calado son las siguientes:

- Desplazamiento
- Volumen de la carena
- Abscisa del centro de carena
- Coeficiente prismático
- Coeficiente de bloque
- Área de la sección máxima
- Coeficiente de la maestra
- Área de la flotación
- Coeficiente de la flotación
- Altura del centro de carena sobre la línea de base
- Radio metacéntrico transversal
- Radio metacéntrico longitudinal
- Momento para trimar 1 centímetro
- Área de la superficie mojada
- Toneladas por centímetro de inmersión

Todas ellas con las unidades que se han especificado en la tabla del punto anterior.

Este conjunto de características se va a obtener para calados de entre 2,50 y 20,50 metros con intervalos de 0,5 metros (además de para el calado de proyecto: 16,80 metros), y además para cinco situaciones de trimado que son:

- Trimado 0,0
- Trimado + 0,5 (por popa)
- Trimado + 1,0 (por popa)
- Trimado - 0,5 (por proa)
- Trimado - 1,0 (por proa)

Seguidamente se presentan unas tablas donde se resumen las características hidrostáticas para cada situación de trimado:



TRIMADO 0,0

T_A (m)	T_F (m)	Δ (t)	Disv (m ³)	X_{CB} (m)	C_P	C_B	A_M (m ²)	C_M	A_{WP} (m ²)	C_{WP}	K_B (m)	Z_{BM} (m)	Z_{BML} (m)	M_{TC} (tm)	S (m ²)	T_{CI} (t/cm)
2,50	2,50	22986	22425	143,08	0,7468	0,7340	115,49	0,9829	9565,20	0,7827	1,29	66,40	1608,30	1421,8	10322,2	98,04
3,00	3,00	27918	27237	142,96	0,7537	0,7430	138,99	0,9857	9675,79	0,7918	1,55	55,74	1360,79	1461,2	10628,9	99,18
3,50	3,50	32902	32099	142,85	0,7598	0,7505	162,49	0,9878	9766,38	0,7992	1,81	48,06	1180,26	1493,6	10925,3	100,11
4,00	4,00	37928	37003	142,75	0,7652	0,7570	185,99	0,9893	9842,30	0,8054	2,06	42,26	1042,78	1521,2	11216,2	100,88
4,50	4,50	42989	41941	142,66	0,7700	0,7627	209,49	0,9905	9904,66	0,8105	2,32	37,71	933,35	1543,2	11500,9	101,52
5,00	5,00	48080	46907	142,57	0,7743	0,7677	232,99	0,9914	9956,57	0,8148	2,58	34,05	844,18	1561,1	11782,3	102,05
5,50	5,50	53194	51897	142,49	0,7782	0,7722	256,49	0,9922	10000,30	0,8184	2,83	31,05	770,31	1576,0	12060,6	102,50
6,00	6,00	58329	56907	142,41	0,7817	0,7761	279,99	0,9929	10038,76	0,8215	3,09	28,52	708,52	1589,5	12335,4	102,90
6,50	6,50	63484	61935	142,33	0,7849	0,7797	303,49	0,9934	10073,29	0,8243	3,35	26,38	656,07	1601,9	12607,6	103,25
7,00	7,00	68654	66980	142,24	0,7878	0,7830	326,99	0,9939	10104,24	0,8269	3,60	24,54	610,94	1613,2	12879,4	103,57
7,50	7,50	73840	72039	142,16	0,7905	0,7860	350,49	0,9943	10133,22	0,8292	3,86	22,93	571,87	1624,1	13150,6	103,87
8,00	8,00	79041	77113	142,07	0,7930	0,7888	373,99	0,9946	10160,96	0,8315	4,12	21,53	537,79	1634,9	13421,8	104,15
8,50	8,50	84256	82201	141,97	0,7954	0,7914	397,49	0,9950	10188,58	0,8338	4,37	20,29	507,96	1646,1	13693,4	104,43
9,00	9,00	89486	87303	141,87	0,7976	0,7938	420,99	0,9952	10218,82	0,8362	4,63	19,19	481,99	1658,9	13966,4	104,74
9,50	9,50	94731	92421	141,77	0,7997	0,7961	444,49	0,9955	10252,75	0,8390	4,88	18,21	459,37	1673,7	14241,4	105,09
10,00	10,00	99996	97557	141,65	0,8018	0,7983	467,99	0,9957	10291,11	0,8422	5,14	17,34	439,68	1691,0	14519,1	105,48
10,50	10,50	105281	102713	141,52	0,8038	0,8005	491,49	0,9959	10336,26	0,8458	5,40	16,56	422,83	1712,2	14801,0	105,95
11,00	11,00	110592	107894	141,38	0,8058	0,8027	514,99	0,9961	10388,16	0,8501	5,65	15,85	408,43	1737,3	15090,4	106,48



T_A (m)	T_F (m)	Δ (t)	Disv (m ³)	X_{CB} (m)	C_P	C_B	A_M (m ²)	C_M	A_{WP} (m ²)	C_{WP}	K_B (m)	Z_{BM} (m)	Z_{BML} (m)	M_{TC} (tm)	S (m ²)	T_{CI} (t/cm)
11,50	11,50	115931	113103	141,22	0,8078	0,8048	538,49	0,9963	10447,78	0,8550	5,91	15,22	396,20	1766,6	15387,7	107,09
12,00	12,00	121301	118343	141,04	0,8099	0,8070	561,99	0,9964	10515,19	0,8605	6,17	14,64	385,96	1800,7	15690,6	107,78
12,50	12,50	126712	123621	140,84	0,8121	0,8093	585,49	0,9966	10590,56	0,8667	6,43	14,12	377,46	1839,6	16010,8	108,55
13,00	13,00	132161	128938	140,61	0,8143	0,8116	608,99	0,9967	10664,32	0,8727	6,69	13,64	369,36	1877,5	16329,7	109,31
13,50	13,50	137644	134287	140,36	0,8166	0,8140	632,49	0,9968	10736,81	0,8786	6,95	13,19	361,72	1915,0	16659,0	110,05
14,00	14,00	143164	139672	140,08	0,8189	0,8164	655,99	0,9969	10806,17	0,8843	7,21	12,78	354,25	1950,6	16979,5	110,76
14,50	14,50	148719	145092	139,79	0,8213	0,8189	679,49	0,9970	10870,83	0,8896	7,48	12,40	346,83	1983,9	17312,9	111,43
15,00	15,00	154304	150540	139,48	0,8236	0,8213	702,99	0,9971	10935,81	0,8949	7,74	12,04	339,98	2017,7	17637,1	112,09
15,50	15,50	159925	156024	139,16	0,8260	0,8237	726,49	0,9972	10997,67	0,9000	8,00	11,70	333,28	2050,0	17959,9	112,73
16,00	16,00	165581	161543	138,83	0,8284	0,8262	749,99	0,9973	11055,33	0,9047	8,27	11,38	326,61	2080,0	18268,5	113,32
16,50	16,50	171261	167084	138,50	0,8308	0,8287	773,49	0,9974	11112,11	0,9093	8,53	11,07	320,34	2110,1	18566,6	113,90
16,80	16,80	174683	170422	138,31	0,8322	0,8301	787,59	0,9975	11143,05	0,9119	8,69	10,90	316,49	2126,4	18743,2	114,22
17,00	17,00	176969	172653	138,18	0,8332	0,8311	796,99	0,9975	11162,51	0,9135	8,80	10,78	313,90	2136,6	18860,2	114,42
17,50	17,50	182702	178245	137,85	0,8356	0,8335	820,49	0,9976	11207,33	0,9171	9,06	10,50	307,38	2160,0	19149,9	114,88
18,00	18,00	188456	183859	137,53	0,8379	0,8359	843,99	0,9976	11247,20	0,9204	9,33	10,24	300,86	2180,7	19436,4	115,28
18,50	18,50	194230	189492	137,22	0,8401	0,8382	867,49	0,9977	11282,65	0,9233	9,59	9,98	294,37	2199,1	19720,1	115,65
19,00	19,00	200020	195141	136,91	0,8424	0,8405	890,99	0,9977	11313,99	0,9259	9,86	9,74	287,97	2215,4	20001,5	115,97
19,50	19,50	205826	200806	136,61	0,8445	0,8427	914,49	0,9978	11341,55	0,9281	10,12	9,50	281,64	2229,6	20281,0	116,25
20,00	20,00	211650	206488	136,33	0,8467	0,8449	937,99	0,9979	11364,52	0,9300	10,39	9,26	275,49	2242,6	20561,2	116,49



TRIMADO + 0,5

T_A (m)	T_F (m)	Δ (t)	Disv (m ³)	X_{CB} (m)	C_P	C_B	A_M (m ²)	C_M	A_{WP} (m ²)	C_{WP}	K_B (m)	Z_{BM} (m)	Z_{BML} (m)	M_{TC} (tm)	S (m ²)	T_{CI} (t/cm)
2,50	2,00	20312	19816	139,71	0,7203	0,7207	105,81	0,9770	9498,28	0,7773	1,15	74,25	1789,65	1398,1	10156,9	97,36
3,00	2,50	25213	24598	140,16	0,7316	0,7320	129,31	0,9811	9622,98	0,7875	1,41	61,16	1486,88	1441,9	10471,3	98,64
3,50	3,00	30173	29437	140,46	0,7409	0,7412	152,81	0,9839	9723,87	0,7957	1,67	52,02	1273,46	1477,8	10773,0	99,67
4,00	3,50	35179	34321	140,66	0,7487	0,7490	176,31	0,9860	9807,87	0,8026	1,92	45,29	1114,64	1508,2	11067,4	100,53
4,50	4,00	40224	39243	140,80	0,7554	0,7556	199,81	0,9877	9876,18	0,8082	2,18	40,11	990,51	1532,4	11354,7	101,23
5,00	4,50	45301	44196	140,90	0,7612	0,7614	223,31	0,9889	9933,29	0,8129	2,44	36,00	890,86	1552,2	11638,0	101,82
5,50	5,00	50405	49176	140,97	0,7663	0,7665	246,81	0,9900	9981,45	0,8168	2,70	32,66	809,19	1568,7	11917,8	102,31
6,00	5,50	55532	54177	141,02	0,7709	0,7710	270,31	0,9908	10023,83	0,8203	2,95	29,88	741,53	1583,8	12193,7	102,74
6,50	6,00	60679	59199	141,05	0,7750	0,7751	293,81	0,9916	10061,16	0,8233	3,21	27,54	684,37	1597,2	12466,4	103,13
7,00	6,50	65844	64238	141,07	0,7786	0,7788	317,31	0,9922	10094,99	0,8261	3,47	25,54	635,62	1609,7	12738,8	103,47
7,50	7,00	71026	69293	141,06	0,7820	0,7821	340,81	0,9927	10125,94	0,8286	3,72	23,81	593,51	1621,3	13010,2	103,79
8,00	7,50	76224	74365	141,05	0,7851	0,7852	364,31	0,9932	10155,55	0,8311	3,98	22,30	556,97	1632,9	13281,4	104,09
8,50	8,00	81436	79450	141,02	0,7880	0,7881	387,81	0,9936	10184,29	0,8334	4,23	20,97	525,03	1644,5	13553,1	104,39
9,00	8,50	86664	84550	140,97	0,7906	0,7907	411,31	0,9940	10214,35	0,8359	4,49	19,80	497,15	1657,1	13825,6	104,70
9,50	9,00	91907	89666	140,92	0,7931	0,7933	434,81	0,9943	10248,04	0,8386	4,75	18,76	472,95	1671,8	14100,3	105,04
10,00	9,50	97169	94799	140,85	0,7956	0,7957	458,31	0,9946	10286,22	0,8418	5,00	17,83	451,94	1689,0	14378,0	105,43
10,50	10,00	102452	99953	140,76	0,7979	0,7980	481,81	0,9948	10330,70	0,8454	5,26	17,00	433,90	1709,8	14659,9	105,89
11,00	10,50	107760	105131	140,66	0,8002	0,8003	505,31	0,9951	10383,98	0,8498	5,52	16,26	418,74	1735,5	14948,2	106,44



T_A (m)	T_F (m)	Δ (t)	Disv (m ³)	X_{CB} (m)	C_P	C_B	A_M (m ²)	C_M	A_{WP} (m ²)	C_{WP}	K_B (m)	Z_{BM} (m)	Z_{BML} (m)	M_{TC} (tm)	S (m ²)	T_{CI} (t/cm)
11,50	11,00	113097	110338	140,53	0,8025	0,8026	528,81	0,9953	10444,34	0,8547	5,78	15,59	405,84	1765,3	15245,2	107,05
12,00	11,50	118469	115579	140,38	0,8049	0,8050	552,31	0,9955	10513,47	0,8603	6,03	14,98	395,14	1800,5	15560,2	107,76
12,50	12,00	123876	120855	140,21	0,8073	0,8073	575,81	0,9957	10590,23	0,8666	6,29	14,43	386,24	1840,2	15866,9	108,55
13,00	12,50	129325	126171	140,01	0,8097	0,8098	599,31	0,9958	10665,80	0,8728	6,56	13,92	377,84	1879,4	16185,3	109,32
13,50	13,00	134810	131522	139,78	0,8122	0,8123	622,81	0,9960	10741,19	0,8790	6,82	13,46	370,04	1918,7	16512,7	110,10
14,00	13,50	140334	136911	139,53	0,8148	0,8148	646,31	0,9962	10813,28	0,8849	7,08	13,03	362,46	1956,4	16838,5	110,84
14,50	14,00	145893	142335	139,26	0,8173	0,8174	669,81	0,9963	10881,75	0,8905	7,34	12,63	354,99	1992,0	17159,4	111,54
15,00	14,50	151483	147788	138,98	0,8199	0,8199	693,31	0,9964	10944,41	0,8956	7,61	12,26	347,47	2024,5	17492,7	112,18
15,50	15,00	157107	153275	138,67	0,8224	0,8225	716,81	0,9965	11003,77	0,9005	7,87	11,90	340,09	2055,0	17812,6	112,79
16,00	15,50	162761	158791	138,36	0,8250	0,8250	740,31	0,9966	11057,97	0,9049	8,14	11,57	332,69	2082,7	18129,6	113,34
16,50	16,00	168445	164336	138,04	0,8275	0,8276	763,81	0,9967	11109,05	0,9091	8,40	11,25	325,50	2108,8	18433,1	113,87
16,80	16,80	174683	170422	138,31	0,8322	0,8301	787,59	0,9975	11143,05	0,9119	8,69	10,90	316,49	2126,4	18743,2	114,22
17,00	16,50	174152	169904	137,73	0,8300	0,8301	787,31	0,9968	11160,02	0,9133	8,67	10,95	318,82	2135,5	18726,8	114,39
17,50	17,00	179883	175496	137,41	0,8325	0,8325	810,81	0,9969	11205,16	0,9170	8,93	10,66	312,07	2159,1	19016,7	114,85
18,00	17,50	185636	181109	137,10	0,8349	0,8350	834,31	0,9970	11245,31	0,9202	9,20	10,39	305,32	2179,9	19303,3	115,26
18,50	18,00	191409	186741	136,80	0,8373	0,8373	857,81	0,9971	11281,02	0,9232	9,47	10,13	298,62	2198,4	19587,2	115,63
19,00	18,50	197199	192389	136,50	0,8396	0,8397	881,31	0,9972	11312,60	0,9257	9,73	9,87	292,01	2214,8	19868,7	115,95
19,50	19,00	203004	198053	136,21	0,8419	0,8419	904,81	0,9972	11340,58	0,9280	10,00	9,63	285,51	2229,3	20148,2	116,24
20,00	19,50	208821	203728	135,93	0,8441	0,8441	928,31	0,9973	11354,34	0,9292	10,26	9,38	278,43	2236,2	20422,9	116,38



TRIMADO + 1,0

T_A (m)	T_F (m)	Δ (t)	Disv (m ³)	X_{CB} (m)	C_P	C_B	A_M (m ²)	C_M	A_{WP} (m ²)	C_{WP}	K_B (m)	Z_{BM} (m)	Z_{BML} (m)	M_{TC} (tm)	S (m ²)	T_{CI} (t/cm)
2,50	1,50	17667	17236	135,47	0,6861	0,7053	96,62	0,9752	9412,86	0,7703	1,02	84,08	2013,70	1368,3	9982,8	96,48
3,00	2,00	22532	21982	136,79	0,7039	0,7196	120,12	0,9796	9559,40	0,7823	1,28	67,68	1637,20	1418,8	10307,8	97,98
3,50	2,50	27462	26792	137,65	0,7175	0,7308	143,62	0,9829	9673,37	0,7916	1,53	56,67	1381,38	1459,1	10616,5	99,15
4,00	3,00	32445	31654	138,26	0,7285	0,7401	167,12	0,9853	9767,22	0,7993	1,79	48,77	1196,31	1492,9	10915,8	100,11
4,50	3,50	37471	36557	138,70	0,7376	0,7479	190,62	0,9871	9843,03	0,8055	2,05	42,81	1054,50	1519,7	11206,4	100,89
5,00	4,00	42533	41495	139,04	0,7454	0,7546	214,12	0,9885	9905,90	0,8106	2,30	38,16	942,41	1541,7	11492,1	101,54
5,50	4,50	47624	46462	139,30	0,7521	0,7604	237,62	0,9896	9959,03	0,8150	2,56	34,43	851,71	1560,1	11773,8	102,08
6,00	5,00	52741	51454	139,50	0,7579	0,7656	261,12	0,9905	10005,77	0,8188	2,82	31,37	777,30	1576,7	12051,0	102,56
6,50	5,50	57880	56468	139,67	0,7631	0,7702	284,62	0,9913	10046,75	0,8222	3,07	28,80	714,95	1591,6	12324,8	102,98
7,00	6,00	63038	61501	139,79	0,7677	0,7743	308,12	0,9920	10083,26	0,8251	3,33	26,62	662,01	1605,1	12597,6	103,35
7,50	6,50	68215	66551	139,88	0,7719	0,7780	331,62	0,9925	10117,02	0,8279	3,59	24,75	616,65	1617,9	12869,5	103,70
8,00	7,00	73408	71618	139,95	0,7757	0,7814	355,12	0,9930	10148,47	0,8305	3,84	23,13	577,35	1630,1	13140,9	104,02
8,50	7,50	78618	76700	139,99	0,7792	0,7846	378,62	0,9934	10179,25	0,8330	4,10	21,71	543,20	1642,5	13412,5	104,34
9,00	8,00	83847	81802	140,01	0,7824	0,7875	402,12	0,9938	10209,96	0,8355	4,36	20,45	513,33	1655,4	13685,0	104,65
9,50	8,50	89084	86911	140,01	0,7854	0,7902	425,62	0,9942	10243,38	0,8382	4,61	19,34	487,39	1669,9	13959,2	104,99
10,00	9,00	94343	92042	139,99	0,7882	0,7929	449,12	0,9945	10281,20	0,8413	4,87	18,35	464,90	1686,9	14236,5	105,38
10,50	9,50	99623	97194	139,95	0,7910	0,7954	472,62	0,9947	10325,41	0,8450	5,13	17,47	445,64	1707,5	14518,3	105,84
11,00	10,00	104928	102369	139,89	0,7936	0,7978	496,12	0,9950	10377,86	0,8493	5,38	16,68	429,37	1732,8	14806,5	106,37



T_A (m)	T_F (m)	Δ (t)	Disv (m ³)	X_{CB} (m)	C_P	C_B	A_M (m ²)	C_M	A_{WP} (m ²)	C_{WP}	K_B (m)	Z_{BM} (m)	Z_{BML} (m)	M_{TC} (tm)	S (m ²)	T_{CI} (t/cm)
11,50	10,50	110262	107573	139,80	0,7962	0,8003	519,62	0,9952	10439,83	0,8543	5,64	15,97	415,80	1763,4	15102,4	107,01
12,00	11,00	115632	112812	139,69	0,7989	0,8028	543,12	0,9954	10509,86	0,8601	5,90	15,33	404,51	1799,0	15416,7	107,73
12,50	11,50	121038	118086	139,55	0,8016	0,8053	566,62	0,9956	10588,55	0,8665	6,16	14,76	395,26	1840,1	15723,5	108,53
13,00	12,00	126487	123402	139,38	0,8043	0,8079	590,12	0,9958	10665,70	0,8728	6,42	14,23	386,49	1880,2	16044,7	109,32
13,50	12,50	131972	128753	139,18	0,8070	0,8105	613,62	0,9959	10743,17	0,8791	6,68	13,74	378,44	1920,9	16368,6	110,12
14,00	13,00	137498	134144	138,96	0,8098	0,8131	637,12	0,9961	10818,15	0,8853	6,95	13,29	370,70	1960,4	16692,5	110,89
14,50	13,50	143061	139571	138,71	0,8126	0,8158	660,62	0,9962	10889,37	0,8911	7,21	12,87	363,13	1998,1	17018,8	111,62
15,00	14,00	148655	145029	138,45	0,8154	0,8185	684,12	0,9964	10956,00	0,8966	7,48	12,48	355,59	2033,1	17339,4	112,30
15,50	14,50	154291	150528	138,16	0,8182	0,8212	707,62	0,9965	11012,82	0,9012	7,74	12,11	347,49	2062,1	17668,6	112,88
16,00	15,00	159942	156041	137,87	0,8209	0,8238	731,12	0,9966	11064,49	0,9054	8,01	11,77	339,41	2087,9	17982,4	113,41
16,50	15,50	165624	161584	137,56	0,8236	0,8264	754,62	0,9967	11112,06	0,9093	8,27	11,44	331,48	2111,6	18294,3	113,90
16,80	16,80	174683	170422	138,31	0,8322	0,8301	787,59	0,9975	11143,05	0,9119	8,69	10,90	316,49	2126,4	18743,2	114,22
17,00	16,00	171335	167156	137,26	0,8262	0,8290	778,12	0,9968	11157,31	0,9130	8,54	11,13	323,89	2134,4	18593,4	114,36
17,50	16,50	177066	172747	136,96	0,8288	0,8316	801,62	0,9969	11203,05	0,9168	8,81	10,83	316,91	2158,2	18883,5	114,83
18,00	17,00	182818	178359	136,66	0,8314	0,8340	825,12	0,9970	11243,43	0,9201	9,07	10,55	309,92	2179,2	19170,2	115,25
18,50	17,50	188589	183989	136,36	0,8339	0,8365	848,62	0,9971	11279,40	0,9230	9,34	10,27	302,99	2197,7	19454,2	115,61
19,00	18,00	194378	189637	136,07	0,8363	0,8388	872,12	0,9971	11311,22	0,9256	9,60	10,01	296,17	2214,2	19735,7	115,94
19,50	18,50	200183	195300	135,79	0,8387	0,8412	895,62	0,9972	11339,38	0,9279	9,87	9,76	289,47	2228,8	20015,3	116,23
20,00	19,00	206000	200975	135,52	0,8410	0,8434	919,12	0,9973	11354,65	0,9292	10,13	9,51	282,27	2236,4	20290,3	116,39



TRIMADO - 0,5

T_A (m)	T_F (m)	Δ (t)	Disv (m ³)	X_{CB} (m)	C_P	C_B	A_M (m ²)	C_M	A_{WP} (m ²)	C_{WP}	K_B (m)	Z_{BM} (m)	Z_{BML} (m)	M_{TC} (tm)	S (m ²)	T_{CI} (t/cm)
2,50	3,00	25685	25059	145,82	0,7257	0,7457	132,81	0,9848	9622,35	0,7874	1,43	60,02	1460,58	1442,9	10484,3	98,63
3,00	3,50	30643	29896	145,31	0,7356	0,7528	156,31	0,9870	9720,96	0,7955	1,69	51,18	1254,04	1478,0	10783,6	99,64
3,50	4,00	35647	34777	144,91	0,7439	0,7589	179,81	0,9887	9802,36	0,8022	1,95	44,64	1099,13	1506,9	11074,6	100,47
4,00	4,50	40688	39696	144,59	0,7510	0,7643	203,31	0,9900	9869,82	0,8077	2,21	39,59	978,22	1530,9	11359,9	101,17
4,50	5,00	45762	44646	144,31	0,7571	0,7692	226,81	0,9910	9926,66	0,8123	2,46	35,58	881,10	1550,8	11641,1	101,75
5,00	5,50	50863	49622	144,07	0,7625	0,7735	250,31	0,9919	9974,81	0,8163	2,72	32,30	801,31	1567,6	11919,3	102,24
5,50	6,00	55986	54620	143,86	0,7673	0,7773	273,81	0,9926	10015,78	0,8196	2,98	29,58	734,62	1581,9	12194,9	102,66
6,00	6,50	61128	59637	143,68	0,7715	0,7809	297,31	0,9931	10051,56	0,8225	3,23	27,28	678,20	1594,5	12467,8	103,03
6,50	7,00	66288	64671	143,50	0,7753	0,7840	320,81	0,9936	10083,37	0,8252	3,49	25,31	629,87	1605,9	12740,1	103,35
7,00	7,50	71463	69720	143,34	0,7788	0,7870	344,31	0,9941	10112,35	0,8275	3,74	23,60	588,10	1616,4	13011,6	103,65
7,50	8,00	76652	74783	143,18	0,7820	0,7896	367,81	0,9945	10139,48	0,8297	4,00	22,12	551,73	1626,6	13282,8	103,93
8,00	8,50	81856	79859	143,03	0,7849	0,7921	391,31	0,9948	10166,03	0,8319	4,26	20,81	519,94	1636,9	13553,9	104,20
8,50	9,00	87073	84949	142,87	0,7877	0,7945	414,81	0,9951	10193,71	0,8342	4,51	19,65	492,16	1648,2	13825,9	104,49
9,00	9,50	92305	90053	142,72	0,7902	0,7967	438,31	0,9953	10224,08	0,8367	4,77	18,62	467,88	1661,1	14099,1	104,80
9,50	10,00	97553	95173	142,57	0,7927	0,7988	461,81	0,9956	10257,95	0,8394	5,02	17,70	446,66	1675,9	14373,9	105,14
10,00	10,50	102820	100312	142,41	0,7950	0,8009	485,31	0,9958	10296,75	0,8426	5,28	16,88	428,24	1693,5	14651,5	105,54
10,50	11,00	108107	105471	142,25	0,7973	0,8029	508,81	0,9960	10339,89	0,8461	5,54	16,14	412,14	1713,6	14942,4	105,98
11,00	11,50	113419	110653	142,07	0,7995	0,8049	532,31	0,9962	10390,93	0,8503	5,79	15,47	398,47	1738,2	15233,0	106,51



T_A (m)	T_F (m)	Δ (t)	Disv (m ³)	X_{CB} (m)	C_P	C_B	A_M (m ²)	C_M	A_{WP} (m ²)	C_{WP}	K_B (m)	Z_{BM} (m)	Z_{BML} (m)	M_{TC} (tm)	S (m ²)	T_{CI} (t/cm)
11,50	12,00	118760	115863	141,88	0,8018	0,8069	555,81	0,9963	10449,06	0,8551	6,05	14,86	386,76	1766,6	15531,6	107,10
12,00	12,50	124139	121111	141,67	0,8041	0,8091	579,31	0,9965	10512,80	0,8603	6,31	14,32	376,64	1798,3	15838,2	107,76
12,50	13,00	129549	126389	141,43	0,8064	0,8112	602,81	0,9966	10590,91	0,8667	6,57	13,82	369,08	1839,0	16161,2	108,56
13,00	13,50	134996	131703	141,18	0,8088	0,8134	626,31	0,9967	10662,52	0,8725	6,83	13,36	361,24	1875,6	16483,3	109,29
13,50	14,00	140473	137047	140,90	0,8112	0,8156	649,81	0,9969	10730,16	0,8781	7,09	12,94	353,44	1909,6	16800,6	109,98
14,00	14,50	145989	142428	140,61	0,8136	0,8179	673,31	0,9970	10795,91	0,8835	7,35	12,54	346,04	1943,0	17133,5	110,66
14,50	15,00	151539	147843	140,29	0,8160	0,8202	696,81	0,9971	10862,84	0,8889	7,61	12,18	339,28	1977,5	17457,8	111,34
15,00	15,50	157120	153288	139,97	0,8185	0,8226	720,31	0,9972	10930,15	0,8944	7,87	11,83	333,10	2012,9	17784,6	112,03
15,50	16,00	162744	158775	139,63	0,8210	0,8250	743,81	0,9972	10995,43	0,8998	8,14	11,51	327,12	2047,6	18099,1	112,70
16,00	16,50	168403	164295	139,29	0,8235	0,8274	767,31	0,9973	11058,74	0,9050	8,40	11,19	321,37	2081,5	18402,3	113,35
16,50	17,00	174079	169833	138,95	0,8260	0,8297	790,81	0,9974	11114,93	0,9096	8,66	10,90	315,33	2111,3	18700,2	113,93
16,80	16,80	174683	170422	138,31	0,8322	0,8301	787,59	0,9975	11143,05	0,9119	8,69	10,90	316,49	2126,4	18743,2	114,22
17,00	17,50	179787	175402	138,61	0,8285	0,8321	814,31	0,9975	11164,99	0,9137	8,93	10,62	309,13	2137,6	18993,6	114,44
17,50	18,00	185521	180996	138,28	0,8309	0,8344	837,81	0,9976	11209,50	0,9173	9,19	10,35	302,84	2160,9	19283,2	114,90
18,00	18,50	191276	186611	137,95	0,8333	0,8368	861,31	0,9976	11249,10	0,9205	9,46	10,09	296,53	2181,5	19569,6	115,30
18,50	19,00	197050	192244	137,63	0,8357	0,8390	884,81	0,9977	11284,30	0,9234	9,72	9,84	290,25	2199,8	19853,2	115,66
19,00	19,50	202842	197894	137,31	0,8380	0,8413	908,31	0,9977	11315,16	0,9260	9,99	9,60	284,02	2215,8	20134,5	115,98
19,50	20,00	208654	203565	137,01	0,8402	0,8435	931,81	0,9978	11352,47	0,9290	10,25	9,38	278,65	2236,2	20419,6	116,36
20,00	20,50	214481	209250	136,72	0,8425	0,8456	955,31	0,9979	11382,82	0,9315	10,52	9,15	273,26	2254,2	20700,0	116,67



TRIMADO - 1,0

T_A (m)	T_F (m)	Δ (t)	Disv (m ³)	X_{CB} (m)	C_P	C_B	A_M (m ²)	C_M	A_{WP} (m ²)	C_{WP}	K_B (m)	Z_{BM} (m)	Z_{BML} (m)	M_{TC} (tm)	S (m ²)	T_{CI} (t/cm)
2,00	3,00	23475	22902	149,13	0,6937	0,7497	126,98	0,9792	9559,30	0,7823	1,33	64,97	1573,29	1420,5	10333,6	97,98
2,50	3,50	28403	27710	148,10	0,7083	0,7559	150,48	0,9829	9669,29	0,7913	1,58	54,73	1336,23	1459,7	10638,9	99,11
3,00	4,00	33382	32568	147,32	0,7200	0,7615	173,97	0,9852	9759,04	0,7986	1,84	47,30	1161,98	1491,9	10933,9	100,03
3,50	4,50	38403	37467	146,70	0,7297	0,7665	197,47	0,9869	9833,45	0,8047	2,09	41,66	1028,04	1518,5	11221,9	100,79
4,00	5,00	43460	42400	146,20	0,7380	0,7710	220,97	0,9883	9895,22	0,8098	2,35	37,23	921,52	1540,4	11505,0	101,43
4,50	5,50	48545	47361	145,78	0,7451	0,7751	244,46	0,9894	9947,31	0,8140	2,61	33,66	834,74	1558,6	11784,7	101,96
5,00	6,00	53655	52346	145,42	0,7514	0,7788	267,96	0,9903	9991,20	0,8176	2,86	30,71	762,62	1573,8	12061,5	102,41
5,50	6,50	58785	57351	145,11	0,7568	0,7822	291,46	0,9911	10028,72	0,8207	3,12	28,24	701,85	1586,9	12336,5	102,79
6,00	7,00	63934	62374	144,83	0,7617	0,7853	314,95	0,9918	10061,64	0,8234	3,38	26,13	649,97	1598,3	12608,7	103,13
6,50	7,50	69098	67413	144,58	0,7661	0,7881	338,45	0,9923	10091,21	0,8258	3,63	24,31	605,35	1608,8	12880,7	103,43
7,00	8,00	74276	72465	144,34	0,7700	0,7907	361,95	0,9928	10118,15	0,8280	3,89	22,74	566,56	1618,5	13152,0	103,71
7,50	8,50	79468	77530	144,12	0,7736	0,7931	385,44	0,9933	10143,89	0,8301	4,14	21,35	532,70	1628,2	13423,1	103,97
8,00	9,00	84673	82608	143,91	0,7769	0,7953	408,94	0,9936	10170,13	0,8323	4,40	20,13	503,12	1638,5	13694,6	104,24
8,50	9,50	89893	87700	143,71	0,7800	0,7974	432,44	0,9940	10198,05	0,8345	4,65	19,05	477,21	1649,9	13966,7	104,53
9,00	10,00	95127	92807	143,52	0,7829	0,7994	455,93	0,9943	10228,40	0,8370	4,91	18,08	454,45	1662,7	14239,7	104,84
9,50	10,50	100378	97929	143,32	0,7856	0,8014	479,43	0,9946	10262,73	0,8398	5,16	17,22	434,60	1677,8	14514,4	105,19
10,00	11,00	105647	103070	143,13	0,7882	0,8033	502,93	0,9948	10300,20	0,8429	5,42	16,44	417,11	1694,9	14792,7	105,58
10,50	11,50	110936	108230	142,93	0,7908	0,8052	526,42	0,9950	10342,29	0,8463	5,67	15,74	401,80	1714,4	15084,1	106,01



T_A (m)	T_F (m)	Δ (t)	Disv (m ³)	X_{CB} (m)	C_P	C_B	A_M (m ²)	C_M	A_{WP} (m ²)	C_{WP}	K_B (m)	Z_{BM} (m)	Z_{BML} (m)	M_{TC} (tm)	S (m ²)	T_{CI} (t/cm)
11,00	12,00	116249	113413	142,73	0,7932	0,8070	549,92	0,9953	10392,35	0,8504	5,93	15,10	388,79	1738,3	15375,5	106,52
11,50	12,50	121589	118624	142,51	0,7957	0,8089	573,41	0,9955	10449,15	0,8551	6,19	14,53	377,61	1765,9	15675,3	107,10
12,00	13,00	126969	123872	142,26	0,7982	0,8109	596,91	0,9956	10512,06	0,8602	6,44	14,01	367,97	1796,9	15983,0	107,75
12,50	13,50	132377	129148	142,00	0,8006	0,8130	620,41	0,9958	10587,26	0,8664	6,70	13,53	360,57	1835,8	16308,2	108,52
13,00	14,00	137821	134459	141,72	0,8031	0,8151	643,90	0,9959	10655,92	0,8720	6,96	13,10	352,82	1870,2	16629,9	109,22
13,50	14,50	143294	139799	141,42	0,8056	0,8172	667,40	0,9961	10720,54	0,8773	7,22	12,69	345,18	1902,4	16953,6	109,89
14,00	15,00	148806	145176	141,10	0,8082	0,8193	690,90	0,9962	10788,52	0,8829	7,48	12,32	338,45	1937,1	17278,6	110,58
14,50	15,50	154353	150588	140,77	0,8107	0,8215	714,39	0,9963	10857,78	0,8885	7,74	11,96	332,37	1973,1	17605,5	111,29
15,00	16,00	159938	156037	140,43	0,8133	0,8238	737,89	0,9965	10928,33	0,8943	8,01	11,63	326,88	2010,8	17923,9	112,02
15,50	16,50	165557	161519	140,08	0,8159	0,8261	761,39	0,9966	10999,24	0,9001	8,27	11,32	321,83	2049,3	18233,1	112,74
16,00	17,00	171211	167035	139,73	0,8185	0,8284	784,88	0,9967	11061,92	0,9052	8,53	11,02	316,30	2082,8	18536,0	113,38
16,50	17,50	176895	172581	139,38	0,8211	0,8308	808,38	0,9968	11117,75	0,9098	8,80	10,73	310,49	2112,5	18833,7	113,96
16,80	16,80	174683	170422	138,31	0,8322	0,8301	787,59	0,9975	11143,05	0,9119	8,69	10,90	316,49	2126,4	18743,2	114,22
17,00	18,00	182605	178151	139,03	0,8237	0,8331	831,88	0,9969	11167,49	0,9139	9,06	10,46	304,51	2138,6	19127,0	114,47
17,50	18,50	188339	183746	138,69	0,8262	0,8354	855,37	0,9969	11211,68	0,9175	9,33	10,20	298,43	2161,8	19416,4	114,92
18,00	19,00	194096	189362	138,35	0,8287	0,8376	878,87	0,9970	11251,02	0,9207	9,59	9,95	292,33	2182,3	19702,6	115,32
18,50	19,50	199871	194996	138,02	0,8311	0,8398	902,37	0,9971	11285,64	0,9235	9,85	9,71	286,22	2200,3	19986,2	115,68
19,00	20,00	205669	200653	137,71	0,8335	0,8421	925,86	0,9972	11325,75	0,9268	10,12	9,48	280,92	2222,2	20273,1	116,09
19,50	20,50	211484	206326	137,40	0,8359	0,8442	949,36	0,9972	11372,01	0,9306	10,38	9,27	276,42	2248,4	20558,6	116,56



4 BRAZOS DE ADRIZAMIENTO “GZ”

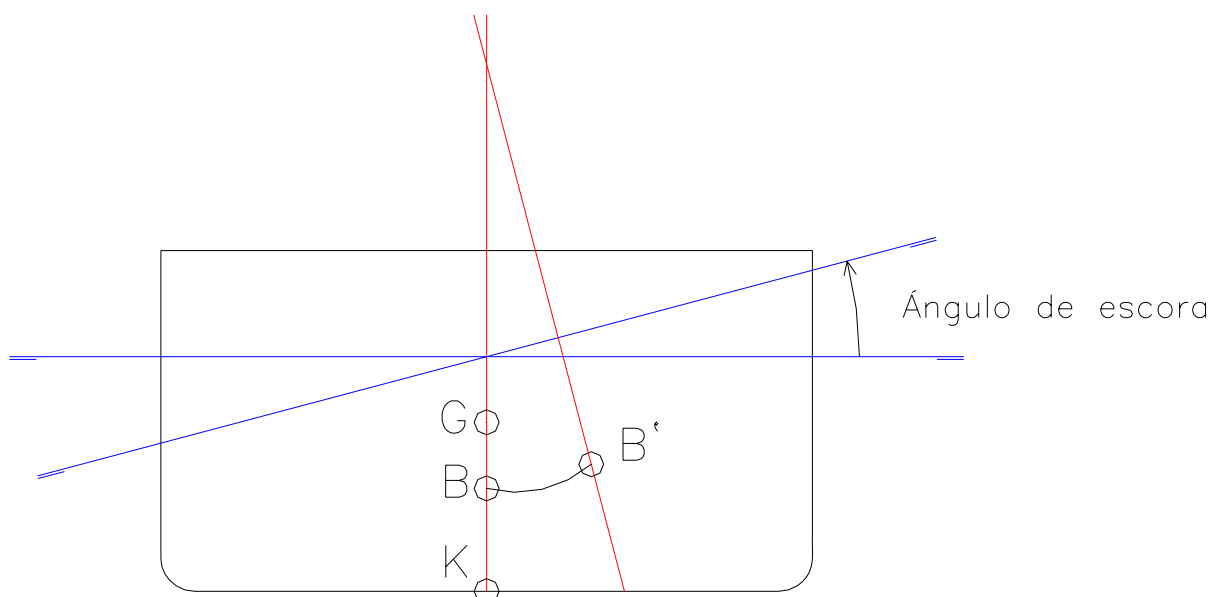
Una vez que se han definido las cubiertas ya se pueden calcular las carenas inclinadas o lo que es lo mismo los brazos de adrizamiento.

“GZ” es el brazo del par de adrizamiento que se crea cuando la carena del buque se escora transversalmente para devolverlo a su posición de equilibrio. Como es sabido es una fuerza de origen hidrostático que se genera por el movimiento del centro de carena del buque cuando éste es perturbado de su posición de equilibrio.

También se pueden representar estos brazos por el valor “KN” que suele llamarse brazo de palanca y está relacionado con “GZ” de la siguiente forma:

$$KN = GZ + KG \cdot \sin \theta$$

Todo ello queda representado en la siguiente figura:



Como es lógico la magnitud del par de adrizamiento depende del volumen de carena, o lo que es lo mismo del calado en el que se encuentre el buque.

4.1 Tabla de brazos de adrizamiento

Los datos contenidos en este punto se han obtenido con el módulo HYDROS de FORAN60.

Seguidamente se presenta una tabla con los datos obtenidos, se presenta el valor de “KN” para desplazamientos de entre 2.000 y 240.000 toneladas y para los siguientes ángulos de escora: 5°, 10°, 15°, 20°, 25°, 30°, 40°, 50°, 60°, 70°, 80°.

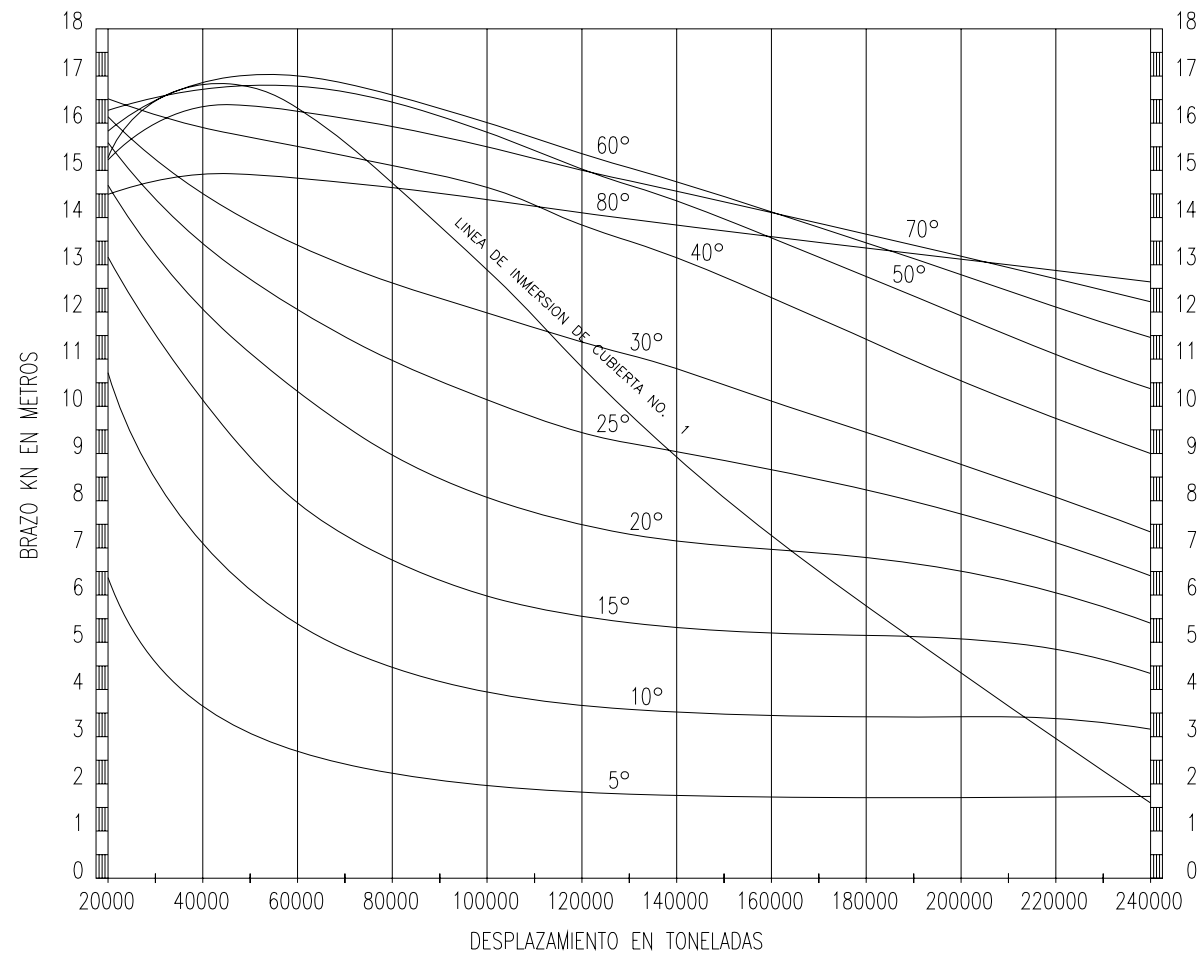


Desplazamiento (toneladas)	KN (m)										
	5°	10°	15°	20°	25°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
20.000	6,372	10,71	13,16	14,68	15,59	16,14	16,52	16,27	15,83	15,22	14,49
40.000	3,644	7,10	10,13	12,06	13,45	14,51	15,91	16,72	16,86	16,35	14,92
60.000	2,690	5,39	7,96	10,32	12,05	13,42	15,51	16,78	17,00	16,26	14,84
80.000	2,220	4,47	6,74	8,97	10,97	12,61	15,10	16,45	16,60	15,93	14,63
100.000	1,965	3,95	5,98	8,07	10,14	11,98	14,64	15,81	16,01	15,50	14,38
120.000	1,821	3,66	5,55	7,49	9,44	11,36	13,84	15,03	15,35	15,00	14,10
140.000	1,753	3,52	5,31	7,14	9,04	10,80	13,15	14,35	14,76	14,56	13,84
160.000	1,720	3,45	5,20	6,97	8,66	10,11	12,30	13,57	14,12	14,11	13,59
180.000	1,708	3,42	5,15	6,79	8,23	9,45	11,42	12,75	13,47	13,65	13,36
200.000	1,710	3,42	5,07	6,51	7,72	8,77	10,54	11,92	12,79	13,18	13,12
220.000	1,718	3,38	4,85	6,05	7,11	8,08	9,74	11,10	12,10	12,70	12,88
240.000	1,733	3,16	4,34	5,40	6,41	7,34	9,00	10,38	11,46	12,22	12,64



4,2 Gráfica de brazos de adrizamiento

Al representar gráficamente los datos del punto anterior, se obtiene el siguiente conjunto de curvas:





5 CAPACIDADES Y CENTROS DE GRAVEDAD DE LOS TANQUES PRINCIPALES

En este punto se van a presentar las distintas capacidades y la posición de los centros de gravedad de cada uno de los tanques a los que ha dado lugar la disposición general del buque.

En los tanques de lastre, agua dulce y agua técnica se ha supuesto un descuento por acero del 2% de la capacidad total debido al reforzado interior, en el resto de tanques se supondrá que los refuerzos son exteriores a los tanques. Además se ha supuesto un descuento adicional por gases del 2% en los tanques que contienen hidrocarburos (petróleo (carga), fuel oil, diesel oil y aceite).

La nomenclatura que se asigna a cada uno de estos tanques es la que se ha utilizado en FORAN60 para la definición de cada espacio, Seguidamente se presentan los datos referidos agrupando los tanques por tipo de contenido:

TANQUES DE CARGA

Suponiendo una densidad de la carga de 0,850 t/m³ (la cual se ha justificado en el Cuaderno 1) se tienen los siguientes tanques de carga, de los cuales dos de ellos son los tanques slop (SLOB y SLOE)

TANQUE	PESO (toneladas)	VOLUMEN NETO (m ³)	ALTURA C,D,G, (m)	MANGA C,D,G, (m)	ABSCISA C,D,G, (m)
CT1B	8.952,9	10.532,8	13,75	7,97	233,50
CT1E	8.952,9	10.532,8	13,75	-7,97	233,50
CT2B	12.152,7	14.297,2	13,38	10,19	202,53
CT2E	12.152,7	14.297,2	13,38	-10,19	202,53
CT3B	12.466,0	14.665,8	13,32	10,44	169,80
CT3E	12.466,0	14.665,8	13,32	-10,44	169,80
CT4B	12.466,0	14.665,8	13,32	10,44	136,84
CT4E	12.466,0	14.665,8	13,32	-10,44	136,84
CT5B	12.451,4	14.648,7	13,33	10,43	103,90
CT5E	12.451,4	14.648,7	13,33	-10,43	103,90
CT6B	11.589,8	13.635,1	13,89	9,85	71,34
CT6E	11.589,8	13.635,1	13,89	-9,85	71,34
SLOB	2.553,7	3.004,3	14,67	8,97	50,37
SLOE	2.553,7	3.004,3	14,67	-8,97	50,37
TOTAL	145.265	170.900	13,52	0,00	146,26



TANQUES DE LASTRE

Se ha tomado una densidad de 1,025 t/m³ para el agua de mar y se ha descontado un 2% del volumen total por refuerzos, todos los tanques de lastre son de la zona de carga excepto el pique de proa (PPRO) y el pique de popa (PPOP):

TANQUE	PESO (toneladas)	VOLUMEN NETO (m³)	ALTURA C,D,G, (m)	MANGA C,D,G, (m)	ABSCISA C,D,G, (m)
BT1B	3.826,5	3.733,1	8,61	13,48	234,91
BT1E	3.826,5	3.733,1	-8,61	13,48	234,91
BT2B	4.194,8	4.092,5	7,37	16,81	203,19
BT2E	4.194,8	4.092,5	-7,37	16,81	203,19
BT3B	3.958,6	3.862,1	6,99	16,72	169,80
BT3E	3.958,6	3.862,1	-6,99	16,72	169,80
BT4B	3.958,6	3.862,1	6,99	16,72	136,84
BT4E	3.958,6	3.862,1	-6,99	16,72	136,84
BT5B	3.959,8	3.863,2	7,00	16,71	103,86
BT5E	3.959,8	3.863,2	-7,00	16,71	103,86
BT6B	5.626,5	5.489,2	7,61	16,28	66,36
BT6E	5.626,5	5.489,2	-7,61	16,28	66,36
PPRO	2.794,9	2.726,7	9,66	0,00	256,95
PPOP	830,3	810,1	7,67	0,00	4,48
TOTAL	53.653,9	52.345,3	7,67	0,00	150,43

TANQUES DE FUEL OIL (HFO)

La densidad del HFO se ha tomado igual a 1,010 t/m³ y el contenido total se divide en los siguientes tanques:

- Almacenamiento (FOA1, FOA2, FOA3 y FOA4)
- Servicio Diario (SDCA, SDM1 y SDM2)
- Sedimentación (SEDI)
- Reboses y derrames (REDE)

Todos estos tanques tienen cofferdam entre tanque y mar.



TANQUE	PESO (toneladas)	VOLUMEN NETO (m ³)	ALTURA C,D,G, (m)	MANGA C,D,G, (m)	ABSCISA C,D,G, (m)
FOA1 (4,5% S)	1184,2	1172,4	16,66	14,08	42,70
FOA2 (4,5% S)	1184,2	1172,4	16,66	-14,08	42,70
FOA3 (1,5% S)	537,3	532,0	18,22	17,96	36,80
FOA4 (0,1% S)	178,7	177,0	20,85	-18,03	38,15
REDE	22,9	22,7	20,86	11,12	39,20
SDCA	83,6	82,8	20,85	-18,63	35,35
SDM1	97,3	96,4	14,34	13,34	36,75
SDM2	97,3	96,4	14,34	10,82	36,75
SEDI	102,9	101,9	20,86	13,44	36,75
TOTAL	3.494,8	3.460,2	17,24	2,57	40,85

TANQUES DE DIESEL OIL (MDO)

Se disponen a bordo tres tanques de MDO (densidad 0,900 t/m³) uno de ellos de almacenamiento (MDOA), otro de servicio diario (SDMD) y otro auxiliar para el arranque de un grupo generador (MDAU).

Todos estos tanques tienen cofferdam entre tanque y mar.

TANQUE	PESO (toneladas)	VOLUMEN NETO (m ³)	ALTURA C,D,G, (m)	MANGA C,D,G, (m)	ABSCISA C,D,G, (m)
MDOA	322,2	358,0	14,34	-12,16	36,40
SDMD	27,0	30,0	20,85	-14,71	36,11
MDAU	1,8	2,0	18,49	11,64	39,55
TOTAL	390,9	434,4	14,90	-12,27	36,39

TANQUES DE ACEITE LUBRICANTE

Se ha supuesto la misma densidad para los distintos aceites lubricantes e igual a 0,920 t/m³, el contenido total de aceite se divide en los siguientes tanques:

- Aceite de camisas del motor principal (LOA1, LCA2 y LCAS)
- Aceite del cárter del motor principal (LOC1, LOC2 y LOCP)
- Aceite de los motores auxiliares (LOAU)

Todos estos tanques tienen cofferdam entre tanque y mar.



TANQUE	PESO (toneladas)	VOLUMEN NETO (m ³)	ALTURA C,D,G, (m)	MANGA C,D,G, (m)	ABSCISA C,D,G, (m)
LOA1	33,4	36,3	21,22	18,91	19,72
LCA2	35,3	38,3	21,09	18,45	21,10
LCAS	2,7	2,9	18,51	15,22	15,86
LOC1	28,4	30,8	1,41	4,92	29,10
LOC2	28,4	30,8	1,41	-4,92	29,10
LOCP	26,0	28,3	1,35	0,00	25,20
LOAU	220,4	239,6	20,85	15,03	20,73
TOTAL	374,5	407,1	16,59	12,38	22,23

TANQUES DE AGUA DULCE

El agua dulce almacenada a bordo es de dos tipos

- Agua potable (APA1 y APA2)
- Agua destilada o técnica (ATA 1 y ATA 2)

TANQUE	PESO (toneladas)	VOLUMEN NETO (m ³)	ALTURA C,D,G, (m)	MANGA C,D,G, (m)	ABSCISA C,D,G, (m)
APA1	230,1	230,1	20,87	5,05	7,35
APA2	230,1	230,1	20,87	-5,05	7,35
ATA1	210,8	210,8	21,02	11,55	7,52
ATA2	210,8	210,8	21,02	-11,55	7,52
TOTAL	881,8	881,8	20,90	0,00	7,41

TANQUES VARIOS (MISCELANEUS)

Bajo el contenido "Miscelaneus" se encuentran los siguientes tanques:

- Tanque de aguas grises (AGRI)
- Tanque de aguas negras (ANEG)
- Tanque de sentinas (SENT)
- Tanque de lodos (LODO)

La densidad de la carga de estos tanques se ha tomado igual a 1,000 t/m³, además todos estos tanques tienen cofferdam entre tanque y mar.

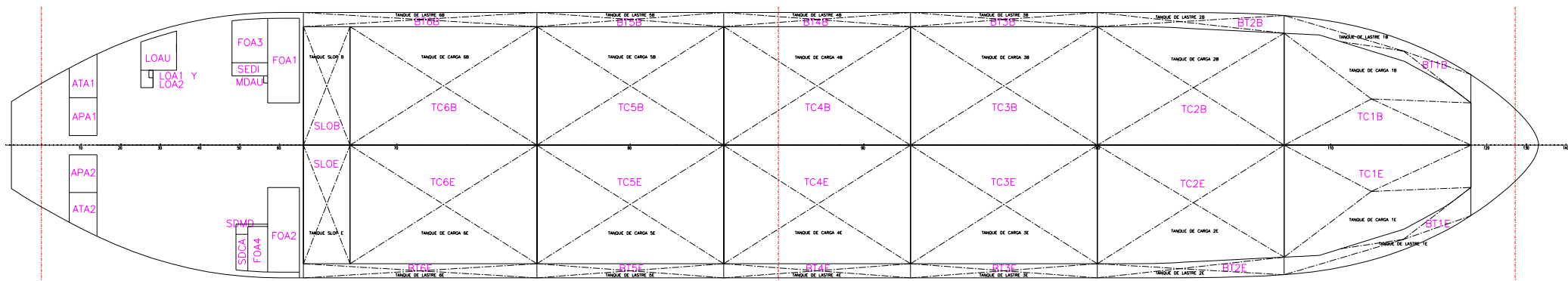


TANQUE	PESO (toneladas)	VOLUMEN NETO (m ³)	ALTURA C,D,G, (m)	MANGA C,D,G, (m)	ABSCISA C,D,G, (m)
AGRI	106,0	106,0	1,44	-5,03	37,43
ANEG	106,0	106,0	1,44	5,03	37,43
SENT	41,9	41,9	1,30	1,44	32,20
LODO	41,9	41,9	1,30	-1,44	32,20
TOTAL	295,9	295,9	1,40	0,00	35,95

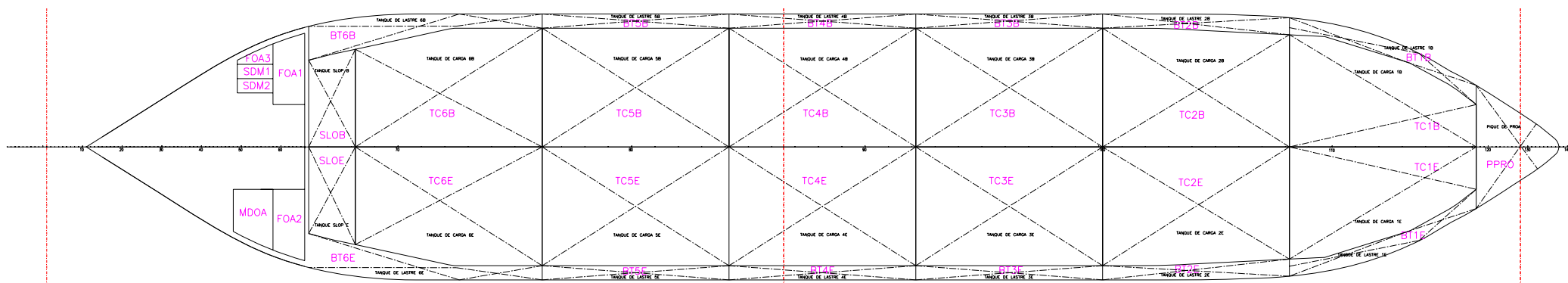
Las siguiente imagen muestra un plano de tanques donde se puede ver la disposición en el buque de los tanques que se han descrito en este apartado.



CORTE BAJO CUBIERTA PRINCIPAL

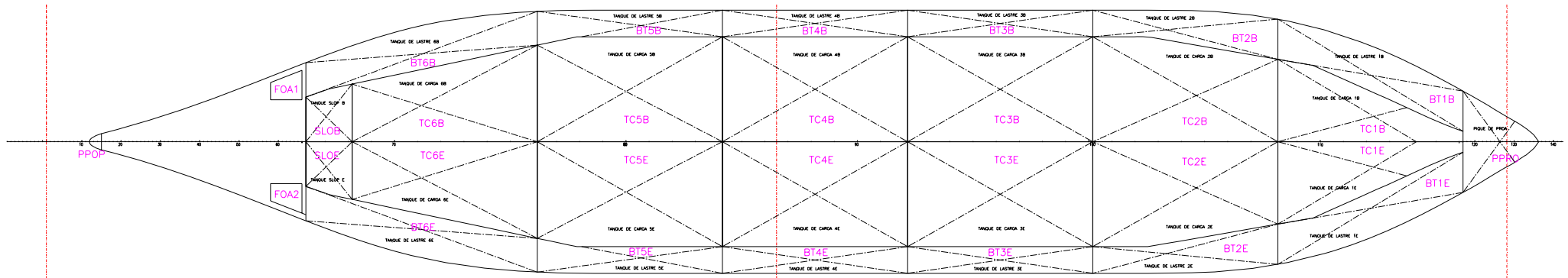


CORTE EN PLANTA 11,30 M

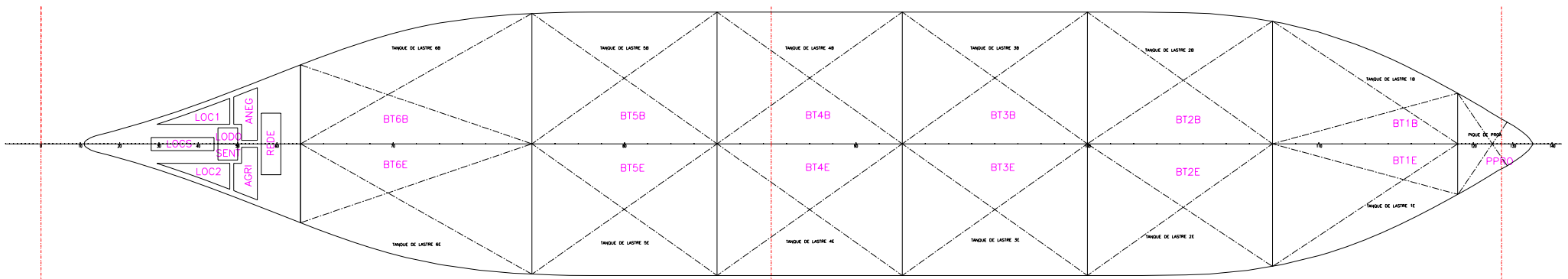




TECHO DOBLE FONDO



TAPA DEL DOBLE FONDO





6 CÁLCULO DEL FRANCOBORDO

En este punto se van a seguir las reglas del Protocolo de 1988 relativo al Convenio Internacional sobre Líneas de Carga de 1966 (Edición revisada 2005).

Se define el francobordo como la distancia vertical, medida en la sección media del buque, entre el borde superior de la cubierta de francobordo (para el buque proyecto la cubierta principal) y el borde superior de la línea de francobordo.

Según la regla 27, para el cálculo del francobordo los buques se dividen en dos tipos: "A" y "B", El buque proyecto pertenece a la categoría "A" por ser proyectado para transportar únicamente cargas líquidas a granel.

Para la realización de los cálculos de francobordo, el reglamento emplea una serie de parámetros que se definen en la Regla 3 y que se resumen a continuación:

- Eslora de francobordo " L_F ": se toma como el 96 % de la eslora total en una línea de flotación situada a una distancia vertical de la quilla igual al 85 % del puntal mínimo de trazado.
- Manga " B ": Se tomará la manga máxima del buque medida en el centro del mismo hasta la línea de trazado de la cuaderna.
- Puntal de trazado " D_T ": Es la distancia vertical medida desde el canto alto de la quilla hasta el canto alto del bao de la cubierta de francobordo en el costado.
- Puntal de francobordo " D_F ": Es el puntal de trazado en el centro del buque más el espesor de la plancha de trancanil, de la cubierta de francobordo.
- Perpendiculares: Las perpendiculares de proa y de popa deberán tomarse en los extremos de proa y de popa de la eslora " L_F ". La perpendicular de proa deberá coincidir con la cara de proa de la roda en la flotación en que se mide la eslora.
- Centro del buque: será el punto medio de la eslora " L_F ".
- Cubierta de francobordo: es la cubierta completa más alta expuesta a la interperie y a la mar, dotada de medios permanentes de cierre en todas las aberturas en la parte expuesta de la misma, y bajo la cual todas las aberturas en los costados del buque estén dotadas de medios permanentes de cierre estanco.
- Coeficiente de bloque de francobordo " Cb_F ", viene dado por la siguiente fórmula:

$$Cb_F = \frac{\nabla}{L_F \cdot B \cdot d_1}$$

Donde " d_1 " es el 85 % del puntal mínimo de trazado.

La cubierta de francobordo del buque proyecto (su cubierta principal) se ha definido con una brusca de 0,1 m y un arrufo en proa de 0,5 con una abscisa de 220 metros.

Los cálculos de francobordo se han realizado en el Módulo HYDROS de FORAN60. Con la información del buque generada en los otros módulos, el programa calcula los parámetros que se han definido anteriormente y se obtienen los siguientes valores:



L_F	260,912 m
B	47,000 m
D_T	24,400 m
D_F	24,367 m
Cb_F	0,8449

CALCULOS DE FRANCOBORDO

A efectos de francobordo el buque no cuenta con superestructuras ni troncos, ya que el forro lateral de las superestructuras del buque dista más de 0,04 B (1,88 metros) del costado del buque, por lo que según la Regla 3 no se consideran superestructuras a efectos del cálculo de francobordo.

Los distintos pasos que se han seguido para los cálculos se describen brevemente a continuación:

Francobordo tabular

Este valor se obtiene en función de la eslora de francobordo del buque de la tabla de francobordo tabular para buques de tipo A, en este caso para una eslora "L_F" de 260,912 m se obtiene por interpolación un francobordo tabular de 3.078 mm.

Según las indicaciones del citado reglamento se deben realizar las siguientes correcciones a este valor tabular:

Corrección por coeficiente de bloque

Según la Regla 30, por ser el coeficiente de bloque obtenido mayor de 0,68, el francobordo tabular debe ser multiplicado por el siguiente factor:

$$\frac{Cb_F + 0,68}{1,36} = \frac{0,845 + 0,68}{1,36} = 1,121$$

Multiplicando este valor por el francobordo tabular da una distancia de 3.451 mm.

Corrección por puntal

Según la Regla 31, por ser el puntal de francobordo del buque mayor que L_F/15, el francobordo debe aumentar en la siguiente cantidad:

$$\left(D_F - \frac{L_F}{15}\right) \cdot 250 = \left(24,367 - \frac{260,912}{15}\right) \cdot 250 = 1.743 \text{ mm}$$

Al sumar esta corrección al francobordo corregido en el punto anterior se obtiene un valor de 5.194 mm.



Corrección por superestructuras

No se aplica corrección por superestructuras puesto que el forro lateral de ambas está separado más de un 4% de la manga del forro del costado.

Corrección por arrufo

Regla 38. Al no haber definido superestructura de altura normal el arrufo se mide respecto a la cubierta de francobordo (cubierta principal), El programa calcula la curva de arrufo normal dando los siguientes resultados:

Perpendicular de popa	2.424 mm
A 1/6 de L_F de la perpendicular de popa	1,076 mm
A 1/3 de L_F de la perpendicular de popa	272 mm
Centro del buque	0 mm
A 1/3 de L_F de la perpendicular de proa	543 mm
A 1/6 de L_F de la perpendicular de proa	2.153 mm
Perpendicular de proa	4.448 mm

Seguidamente se calcula el arrufo real en los mismos seis puntos usados para la definir la curva de arrufo normal:

Perpendicular de popa	54 mm
A 1/6 de L_F de la perpendicular de popa	0 mm
A 1/3 de L_F de la perpendicular de popa	0 mm
Centro del buque	0 mm
A 1/3 de L_F de la perpendicular de proa	0 mm
A 1/6 de L_F de la perpendicular de proa	2 mm
Perpendicular de proa	598 mm

A partir de aquí el programa determina la deficiencia o exceso de arrufo en las mitades de proa y popa de acuerdo con la Regla 38.9, obteniendo un aumento del francobordo obtenido hasta ahora de 879 mm por defecto de arrufo,

Por tanto al sumar este valor al francobordo obtenido en el apartado anterior se obtiene un valor de **6.073 mm**.

Altura mínima de proa

Regla 39, El reglamento establece una altura mínima en la perpendicular de proa " H_{min} " entre la flotación correspondiente al valor de francobordo obtenido anteriormente (6,073 m) y el canto alto de la cubierta de francobordo en el costado, esta altura no debe ser inferior al valor obtenido con la siguiente expresión:



$$H_{\min} = \left[6,075 \left(\frac{L_F}{100} \right) - 1,875 \left(\frac{L_F}{100} \right)^2 + 200 \left(\frac{L_F}{100} \right)^3 \right] \cdot \left[2,08 + 0,609 \cdot Cb_F - 1,603 Cwf_F - 0,0129 \left(\frac{L_F}{d_1} \right) \right]$$

Siendo “ d_1 ” es el 85 % del puntal mínimo de trazado y “ Cwf_F ” el coeficiente del área en la flotación a proa de $L_F / 2$ (se ha calculado y da un valor de 0,887). Con todo ello se obtiene una altura mínima en proa de:

$$H_{\min} = 6.586 \text{ mm}$$

La altura en proa del buque proyecto en es 6.671 mm gracias al arrufo que se le ha dado a la cubierta principal en proa. Con lo cual se cumple con la altura mínima exigida en proa y no es necesaria ninguna corrección adicional.

Corrección por escantillonado y estabilidad

El francobordo reglamentario obtenido por aplicación del convenio es 6.073 mm lo que corresponde a un calado del buque de 18,295 m. Este calado debe corregirse por escantillonado y estabilidad.

El calado de escantillonado se ha definido en el cuaderno 6 y es igual a 17,800 metros por lo que es necesario corrección por escantillonado al francobordo reglamentario de:

$$T_{\text{Reg}} - T_{\text{escantillonado}} = 18,295 - 17,800 = 495 \text{ mm}$$

Además, el calado máximo del buque en las distintas situaciones de carga es 17,130 m, el cual se da para la situación de plena carga, La corrección adicional a realizar por estabilidad es por tanto:

$$T_{\text{escantillonado}} - T_{\text{estabilidad}} = 17,800 - 17,130 = 670 \text{ mm}$$

Por lo que el francobordo final con ambas correcciones queda con un valor de 7.238 mm lo que corresponde a un calado de 17,214 m.

Francobordos mínimos (Regla 40)

Francobordo de verano

Es el valor resultante de aplicar todas las correcciones indicadas anterioremente al francobordo tabular, por tanto el francobordo de verano es igual a **7.238 mm**.

Francobordo tropical

Se refiere al francobordo mínimo en la zona tropical. se calcula restando del francobordo de verano $1/48$ del calado de verano, medido desde el canto alto de la quilla al centro del anillo de la marca de francobordo, por tanto:

$$Fb_{\text{TROPICAL}} = Fb_{\text{VERANO}} - \frac{1}{48} (D_T - Fb_{\text{VERANO}}) = 7,238 - \frac{1}{48} (24,367 - 7,238) = 6,881 \text{ m}$$

Así se tiene un francobordo tropical de **6.881 mm**.



Francobordo de invierno

El francobordo mínimo de invierno será el francobordo obtenido añadiendo al francobordo de verano 1/48 del calado de verano, medido desde el canto alto de la quilla al centro del anillo de la marca de francobordo:

$$Fb_{\text{INVIERNO}} = Fb_{\text{VERANO}} + \frac{1}{48} (D_T - Fb_{\text{VERANO}}) = 7,238 + \frac{1}{48} (24,367 - 7,238) = 7,595 \text{ m}$$

Así se tiene un francobordo de invierno de **7.595 mm**.

Francobordo de invierno en el Atlántico Norte

Por tratarse de un buque de más de 100 metros de eslora, el francobordo de invierno en el Atlántico Norte es igual al francobordo de invierno, por tanto es igual a **7.595 mm**.

Francobordo de agua dulce

El francobordo mínimo en agua dulce de densidad relativa igual a la unidad se obtiene restando el francobordo mínimo en agua salada (francobordo tropical) el siguiente valor:

$$\frac{\Delta}{40 \cdot T_{CI}}$$

Donde “Δ” y “T_{CI}” son respectivamente el desplazamiento (toneladas) y las toneladas por centímetro de inmersión en agua salada, ambos en la flotación en carga de verano (17,214 metros).

Se han obtenido ambos parámetros para dicha flotación, con ello ya se puede calcular el francobordo de agua dulce:

$$Fb_{\text{AGUA DULCE}} = Fb_{\text{TROPICAL}} - \frac{\Delta}{40 \cdot T_{CI}} = 6,881 - \frac{179.205,8}{40 \cdot 114,55} = 6.842 \text{ mm}$$

De esta forma se tiene un francobordo mínimo en agua dulce de de **6.842 mm**.

En la siguiente tabla se resumen los distintos francobordos obtenidos y sus correspondientes calados de trazado:

CONDICIÓN	FRANCOBORDO (m)	CALADO DE TRAZADO (m)
VERANO	7,238	17,129
TROPICAL	6,881	17,486
INVIERNO	7,595	16,772
INVIERNO ATLÁNTICO NORTE	7,595	16,772
AGUA DULCE	6,842	17,525



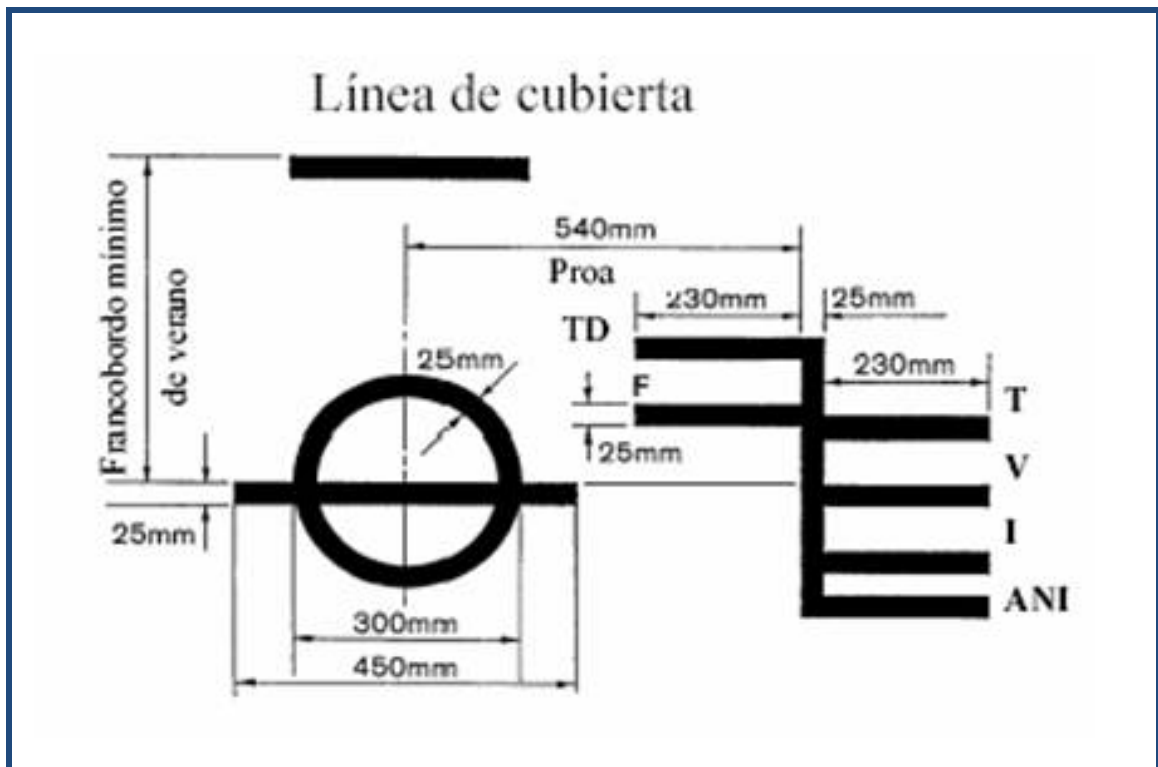
DIBUJO DE LAS MARCAS DE FRANCOBORDO

Este aspecto está regulado en las reglas 4, 5, 6, 7 y 8 del convenio.

Regla 4,- La línea de cubierta será una línea horizontal de 300 mm de longitud y 25 mm de ancho. Estará marcada en el centro del buque, a cada costado y su borde superior pasará por el punto en que la prolongación hacia el exterior de la cara superior de la cubierta de francobordo corte a la superficie exterior del forro.

Regla 5,- La marca de francobordo estará formada por un anillo de 300 mm de diámetro exterior y 25 mm de ancho, cortado por una línea horizontal de 450 mm de longitud y 25 mm de anchura, cuyo borde superior pasa por el centro del anillo. El centro del anillo deberá colocarse en el centro del buque y a una distancia igual al francobordo mínimo de verano asignado, medida verticalmente por debajo del borde superior de la línea de cubierta.

Regla 6,- Las líneas de carga que indican los francobordos asignados serán trazos horizontales de 230 mm de longitud y 25 mm de anchura que se extenderán hacia proa y en ángulo recto de una línea vertical de 25 mm de anchura marcada a una distancia de 540 mm a proa del centro del anillo. Todo ello se resume en la siguiente figura:

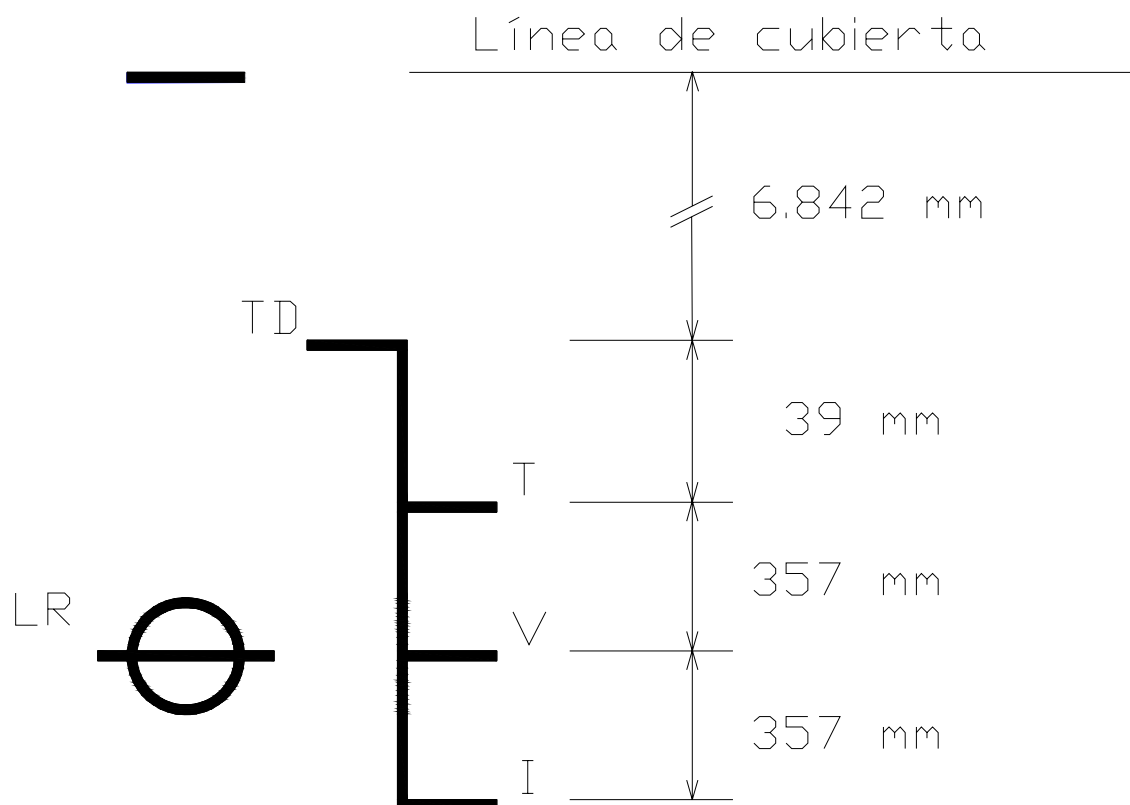


Regla 7,- La marca de la Autoridad que asigna las líneas de carga podrá indicarse junto al anillo, por encima de la línea horizontal que pasa a través de su centro. Esta marca consistirá en no más de cuatro iniciales, para identificar el nombre de la autoridad y de unas dimensiones aproximadas de 115 mm de altura y 75 mm de anchura.



Regla 8,- El anillo, líneas y letras se pintarán en blanco o amarillo sobre un fondo oscuro, o en negro sobre un fondo claro. Las marcas serán bien visibles, y si es necesario se adoptarán medidas especiales con este objeto.

De acuerdo a todo ello se ha realizado el siguiente esquema de las marcas de francobordo:





7 CÁLCULO DEL ARQUEO

El arqueo es una medida para determinar la magnitud y fiscalidad de un buque, básicamente se refiere a la capacidad interior de los espacios cerrados, Para su cálculo se va a seguir el “Convenio Internacional de 23 de Junio de 1969, sobre Arqueo de Buques”, hecho en Londres el 23 de Junio de 1969 y en vigor desde el 18 de Julio de 1969.

El cálculo del arqueo está basado en dos valores:

- Arqueo bruto “GT”: Es la expresión del tamaño total del buque.
- Arqueo neto “NT”: Es la expresión de la capacidad utilizable de un buque.

Para la realización de los cálculos de arqueo, al igual que en el caso del francobordo, el reglamento emplea una serie de parámetros que se definen en la Regla 2 y que se enumeran a continuación:

- Cubierta superior: Es la cubierta completa más alta expuesta a la interperie y a la mar, dotada de medios permanentes de cierres estancos de todas las aberturas en la parte expuesta de la misma y bajo la cual todas las aberturas en los costados del buque estén dotadas de medios permanentes de cierre estanco. En este caso esta cubierta se corresponde con la cubierta principal del buque.
- Puntal de trazado “ D_{TA} ”: Es la distancia vertical medida desde el canto alto de la quilla hasta la cara inferior de la cubierta superior en el costado, para el buque proyecto este valor es 24,38 metros.
- Manga “ B_A ”: Es la manga máxima del buque, medida en el centro del mismo, fuera de miembros en los buques de forro metálico, para el buque proyecto este valor es 47,00 metros.
- Espacios cerrados: Son todos los limitados por el casco del buque, por mamparos fijos o movibles y por cubiertas o techos que no sean toldos permanentes o movibles.
- Espacios excluidos: Son todos aquellos que no pueden ser considerados cerrados según la definición anterior. Sin embargo, si alguno de los espacios abiertos cumplen alguna de las siguientes condiciones será tratado como espacio cerrado:
 - ✓ Si el espacio está dotado de serretas u otros medios para estibar la carga o provisiones.
 - ✓ Si las aberturas están provistas de cualquier sistema de cierre.
 - ✓ Si la construcción permite alguna posibilidad de que tales aberturas puedan cerrarse.
- Pasajero: Por pasajero se entiende toda persona que no sea:
 - ✓ El capitán y los miembros de la tripulación u otras personas empleadas o contratadas para cualquier labor de a bordo necesaria para el buque.
 - ✓ Un niño menor de un año.
- Espacios de carga: Los espacios de carga que deben incluirse en el cálculo del arqueo neto son los espacios cerrados adecuados para el transporte de la carga que de descargarse del buque, a condición de que estos espacios hayan sido incluidos en el cálculo del arqueo bruto. Estos espacios serán certificados mediante marcas permanentes.



- Estando a la interperie: significa que el agua no penetrará en el buque cualquiera que sea el estado de la mar.

CALCULOS DE ARQUEO

ARQUEO BRUTO "GT" (Regla 3)

Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$GT = K_1 \cdot V$$

Donde:

- "V": Es el volumen total de todos los espacios cerrados del buque, expresado en m³. De los datos presentados en el cuaderno de disposición general se extrae el siguiente desglose de volúmenes:

Volumen bajo cubierta principal	256.455,0 m ³
Volumen zona de habilitación	4.665,7 m ³
Volumen zona guardacalor y chimenea	2.033,4 m ³
TOTAL "V"	263.144,1 m³

- $K_1 = 0,2 + 0,02 \cdot \log_{10} V$

Por tanto

$$GT = (0,2 + 0,02 \cdot \log_{10} 263.654,9) \cdot 263,144,1 = \mathbf{81.155 \text{ GT}}$$

ARQUEO NETO "NT" (Regla 4)

Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$NT = K_2 \cdot V_C \cdot \left(\frac{4 \cdot d}{3 \cdot D_{TA}} \right)^2 + K_3 \cdot \left(N_1 + \frac{N_2}{10} \right)$$

Donde:

- "V_C": Volumen total de los espacios de carga, que según se indicó en el punto 5 de este documento es 170.900 m³.
- $K_2 = 0,2 + 0,02 \cdot \log_{10} V_C = 0,2 + 0,02 \cdot \log_{10} 170,900 = 0,305$
- $K_3 = 1,25 \cdot \frac{(GT+10,000)}{10,000} = 1,25 \cdot \frac{(81,155+10,000)}{10,000} = 11,394$
- "d": Es el calado de trazado en el centro del buque expresado en metros, para este caso vale 16,80 metros.
- N₁: Número de pasajeros en camarotes que no tengan más de 8 literas; puesto que el buque proyecto no tiene pasajeros este número es 0.
- N₂: Número del resto de pasajeros; Por lo expresado en el punto anterior este punto es 0. Por lo que el segundo sumando de la expresión para calcular "NT" es nulo.



Adicionalmente se deben cumplir los siguientes criterios:

- El factor $\left(\frac{4 \cdot d}{3 \cdot D_{TA}}\right)^2$ no se tomará superior a la unidad; Para esta caso este factor vale 0,844 por lo que no hay que efectuar correcciones.
- El término $K_2 \cdot V_C \cdot \left(\frac{4 \cdot d}{3 \cdot D_{TA}}\right)^2$ que vale 43.993, no se tomará inferior a $0,25 \cdot GT$ que vale 20,329, por lo que se tomará el primer valor.
- El arqueo neto "NT" no puede ser inferior a $0,30 \cdot GT = 24,347$

Según todo lo anterior el valor de NT es:

$$NT = K_2 \cdot V_C \cdot \left(\frac{4 \cdot d}{3 \cdot D_{TA}}\right)^2 + K_3 \cdot \left(N_1 + \frac{N_2}{10}\right) = 0,305 \cdot 170,900 \cdot \left(\frac{4 \cdot 16,80}{3 \cdot 24,38}\right)^2 = \mathbf{43.993 \text{ NT}}$$

Por tanto, el cálculo del arqueo del buque proyecto ha dado como resultado los siguientes valores:

Arqueo bruto	81.155 GT
Arqueo neto	43.993 NT



8 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Durante el desarrollo de todo el proyecto se ha hecho uso de una serie de referencias bibliográficas, las cuales se enumeran a continuación:

- [1] Ricardo Alvariño Castro, Juan José Azpíroz y Manuel Meizoso..; *“El proyecto básico del buque mercante”*, Ed. Fondo Editorial de Ingeniería Naval; Pub. 2007.
- [2] Lamb, Thomas (Written by an international group of authorities); *“Ship design and construction”*, Ed. Society of Naval Architects and Marine Engineers; Pub 2004.
- [3] Holtrop, J. y Mennen G.G.J.; *“An approximate power prediction method”*, International Shipbuilding Progress; Pub 1982.
- [4] Antonio Vaquero; *“Teoría del buque. Lecciones de resistencia al avance”*, Departamento de Artes Gráficas E.T.S.I.N.; Edición 2002.
- [5] Antonio Vaquero; *“Teoría del buque. Introducción a la propulsión de buques”*, Departamento de Artes Gráficas E.T.S.I.N.; Edición 2005.
- [6] Capitán I.G. Reigadas; *“El buque tanque”*, Ediciones EDG; Pub 2004.
- [7] David G. M. Watson; *“Practical Ship Design”*, ELSEVIER OCEAN ENG. BOOK SERIES; Pub 1998.
- [8] Guillermo Ricardo Gadea; *“Los buques tanque y su clasificación”*, PETROTECNIA; Abril 2004
- [9] M.A. Meizoso, J.L. Garcés; *“Apuntes de proyectos”*, Departamento de Artes Gráficas E.T.S.I.N.
- [10] G. Pérez; *“Teoría del buque (Máquinas) Tomo II-B”*, Departamento de Artes Gráficas E.T.S.I.N.
- [11] Antonio Baquero; *“Análisis de comportamiento del buque bajo la acción del timón. Aspectos hidrodinámicos y de proyecto”*, Tesis Doctoral; Canal de experiencias hidrodinámicas, el Pardo; Publicación núm. 66. Madrid, Noviembre de 1981.
- [12] Álvaro Zurita y Sáez de Navarrete; *“Introducción al diseño de cámara de máquinas”*, Sección de Publicaciones E.T.S.I.N.
- [13] K. Van Dokkum; *“Ship knowledge, a modern encyclopedia”*, Editorial Dokmar; Pub 2003
- [14] Luis Ramón Núñez Rivas; Apuntes de clase de la asignatura “Instalaciones de vapor”, Año 2006.



- [15] Alfonso López de Asiaín Zabia; Apuntes de clase de la asignatura “Equipo y servicios”, Año 2004.
- [16] Amable López Piñeiro; *“Electricidad aplicada al buque – Diseño general de la planta eléctrica”*, Departamento de Artes Gráficas E.T.S.I.N; Pub 1999.
- [17] Amable López Piñeiro; *“Distribución eléctrica a bordo”*, Departamento de Artes Gráficas E.T.S.I.N; Pub 1999.
- [18] Manuel Meizoso Fernández y José Luis García Garcés. *“Desplazamiento. Cálculo iterativo del peso en rosca y el peso muerto”*, Departamento de publicaciones de la ETSIN; Pub Junio 2000
- [19] Manuales de FORAN60.
- [20] *“Common Structural Rules for Double Hull Oil Tankers (CSR)”* publicadas por IACS y en vigor desde el 1 de Abril de 2006
- [21] Lloyds Register of Shipping; *“Rules and Regulations for the Classification of Ships”*; Edición de 2007
- [22] Convenio SOLAS, Edición consolidada 2004.
- [23] Convenio MARPOL 73/78/90 y enmiendas.
- [24] Convenio Internacional sobre Líneas de Carga de 66/88 (Edición revisada 2005).
- [25] Convenio Internacional de 23 de Junio de 1969, sobre Arqueo de Buques hecho en Londres. En vigor desde 18 de Julio de 1982.
- [26] Lloyd’s Register of Shipping; *Lloyd’s Register Information*; <http://www.lr.org>
- [27] Base de datos de buques de Lloyd’s Register of Shipping; <http://www.sea-web.com>
- [28] Jaime Torroja Méndez. *“Apuntes de proyectos. Volumen 1”*, Departamento de publicaciones de la ETSIN; Pub 1987.
- [29] *“Standards for Oil Tanker Manifolds and Associated Equipment”*, Oil Companies International Marine Forum (OCIMF). 3rd Edition 1981.
- [30] *“Recommendations for Equipment Employed in the Mooring of Ships at Single Point Moorings”*, Oil Companies International Marine Forum (OCIMF). 2nd Edition, 1988.
- [31] *“Shipping and shipbuilding markets. Annual Review 2009”*, Barry Rogliano Salles. Pub 2009.

PROYECTO 1.731
PETROLERO PARA CRUDO 150.000 TPM

CUADERNO 5

PREDICCIÓN DE POTENCIA.
DISEÑO DEL PROPULSOR Y TIMÓN



Tutor: D. Francisco Alonso Thous

Realizado por: José Antonio Durango Ramón



CONTENIDOS

1	INTRODUCCIÓN	2
2	NOMENCLATURA	3
3	POTENCIA PROPULSORA. CÁLCULO DEL PROPULSOR ÓPTIMO.....	5
3.1	Potencia de Remolque. Método de Holtrop-Mennen.....	5
3.2	Diseño del propulsor.....	11
4	ELECCIÓN DEL MOTOR PRINCIPAL.....	20
5	DISEÑO DEL TIMÓN	27
6	ESTIMACIÓN DE LA MANIOBRABILIDAD	33
6.1	Capacidad de evolución	33
6.2	Estabilidad de ruta	33
6.3	Facilidad de cambio de rumbo.....	34
7	PERFIL DEL CODASTE, PROPULSOR Y TIMÓN	37
8	CONCLUSIONES.....	39
9	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40
	ANEXO 1 SALIDA DE FORAN60 DE LOS CÁLCULOS EFECTUADOS.....	42



1 INTRODUCCIÓN

En el presente cuaderno se van a pasar a definir los elementos principales de la planta propulsora del buque como son el motor principal y el propulsor. También se procede al diseño de los medios de gobierno, que para el caso concreto de este buque constarán de un único timón tipo “Mariner”, el cual ha sido impuesto en el pliego de condiciones del proyecto.

Se comenzará calculando la resistencia al avance de la carena del buque para un rango de velocidades, dentro del cual está la velocidad de servicio del buque (15,2 nudos) impuesta por especificación. Para ello se hará uso de las formas generadas utilizando el conocido método de Holtrop-Mennen obteniendo la potencia de remolque y la potencia que el propulsor debe ser capaz de suministrar al buque a las distintas velocidades de tránsito.

Conocida la potencia propulsora necesaria, se pasa a definir el propulsor del buque imponiendo como criterio de diseño fundamental la obtención del máximo rendimiento posible.

El siguiente paso es la elección de un motor propulsor que se ajuste a las necesidades de potencia requeridas por el propulsor seleccionado. En el punto 4 se justifica la elección del motor y se presentan sus características principales.

Para finalizar el apartado de cálculos, se define el timón necesario para dotar al buque de unas condiciones de maniobrabilidad suficientes, comprobando en el punto siguiente estas condiciones de maniobrabilidad.

Por último, se presenta un croquis del perfil del codaste del buque una vez dispuestos el propulsor y el timón que se han definido en el transcurso de este documento.



2 NOMENCLATURA

Variable	Descripción (unidades)
F_n	Número de Froude
R_T	Resistencia de remolque (kN)
R_F	Resistencia de fricción (ITTC 57) (kN)
R_{AP}	Resistencia apéndices (kN)
R_W	Resistencia por formación de olas (kN)
R_B	Resistencia debida al bulbo de proa (kN)
R_{TR}	Resistencia de presión (kN)
R_A	Resistencia correlación modelo-buque (kN)
$1 + k$	Factor de formas de Huges
Δ	Desplazamiento (t)
L	Eslora entre perpendiculares (m)
L_F	Eslora en la flotación (m)
B	Manga de trazado (m)
T	Calado (m)
T_{pr}	Calado en la perpendicular de proa (m)
T_{pp}	Calado en la perpendicular de popa (m)
X_B	Posición longitudinal del centro de carena (% de L)
C_m	Coefficiente de la maestra
C_{wp}	Coefficiente de la flotación
S	Superficie mojada del casco m^2
α	Semiángulo de entrada en la flotación ($^\circ$)
A_{TB}	Área transversal del bulbo en la perpendicular de proa (m^2)
H_{ATB}	Altura del c.d.g. del área del bulbo en la perp. de proa (m)
Pr	Longitud del bulbo desde la perpendicular de proa (m)
A_{ESP}	Área sumergida transversal del espejo de popa (m^2)
A_V	Área expuesta al viento (m^2)
A_{TIM}	Área del timón (m^2)
v	Velocidad del buque (nudos)
EHP	Potencia efectiva del propulsor (hp)
R_{CASCO}	Rugosidad media del casco (Micras)
K_F	Coefficiente de forma
C_{CORR}	Coefficiente de correlación modelo-buque
D_H	Diámetro de la hélice (m)
J	Grado de avance
K_T	Coefficiente de empuje
K_Q	Coefficiente de par
η_P	Rendimiento del propulsor
η_C	Rendimiento del casco
η	Rendimiento total de la propulsión
n_P	Velocidad de giro del propulsor (r.p.m.)
BKW	Potencia al freno del motor propulsor (kW)
h_T	Altura del timón (m)
c_T	Cuerda del timón (m)
e_T	Espesor del timón (m)
A_T	Área del timón (m)
H_{VC}	Vano del codaste en la perpendicular de popa (m)



Variable	Descripción (unidades)
λ	Relación de alargamiento del timón
E	Relación de espesor del timón
θ_T	Ángulo de giro del timón ($^\circ$)
θ_{desp}	Ángulo de desprendimiento de flujo del timón ($^\circ$)
Q_T	Par en la mecha del timón (kN m)
x_T	Distancia entre el centro de presiones de la pala del timón a su borde de entrada (m)
x_{T0}	Distancia entre la mecha del timón a su borde de entrada (m)
F_{LA}	Fuerza lateral sobre el centro de presiones de la pala del timón en marcha avante (kN)
F_{LC}	Fuerza lateral sobre el centro de presiones de la pala del timón con el buque ciando (kN)
P_{Servo}	Potencia del servo (kW)
D_G	Diámetro de giro del buque (m)
D_E	Diámetro de evolución del buque (m)
Av	Avance del buque (m)
TRANS	Caída o transferencia (m)
A_{HIST}	Anchura del ciclo de histéresis del buque ($^\circ$)
w	Factor de estela
C_{FT}	Coeficiente de la fuerza tangencial ejercida sobre el timón



3 POTENCIA PROPULSORA. CÁLCULO DEL PROPULSOR ÓPTIMO

Para todos los cálculos de este punto se va a emplear el módulo POWER de FORAN60. Todas las salidas del programa, cuyos resultados se exponen en los siguientes puntos, se presentan en el ANEXO 1 del presente documento.

3.1 Potencia de Remolque. Método de Holtrop-Mennen

Para estimar la resistencia al avance y la potencia propulsora necesaria para impulsar al buque a la velocidad de proyecto (15,2 nudos) va a emplearse el método de Holtrop-Mennen dentro del citado módulo de FORAN60.

Este método se basa en una regresión numérica realizada a partir de ensayos de modelos de la serie 60 en "The Netherland Ship Model Basin" en Wageningen.

En principio no existe una limitación de este método en cuanto al tipo de buque. No obstante, dado que los valores se obtienen por una regresión matemática los resultados serán más fiables, cuanto más se parezca el buque a los de la serie 60 de Wageningen. Puede decirse, por tanto, que el método será aplicable a buques de carga y pasaje de formas más o menos llenas. No será aplicable a buques de alta velocidad.

El método que usa el programa ha sido modificado para usarse en el siguiente rango de números de Froude:

$$0,1 < Fn < 0,8$$

No obstante los resultados no son muy fiables para $Fn > 0,45$. El buque proyecto con un $Fn = 0,1549$ a la velocidad de servicio, está dentro del rango admisible de resultados fiables.

La descomposición más general de la resistencia de remolque " R_T " es la siguiente:

$$R_T = R_F \cdot (1 + k) + R_{AP} + R_W + R_B + R_{TR} + R_A$$

Para obtener la resistencia de remolque de la carena y la potencia necesaria para cada velocidad el programa requiere una serie de datos de entrada, los cuales se enumeran a continuación:



Desplazamiento “Δ”	174.683 ton
Eslora entre perpendiculares “L”	260,00 m
Eslora en la flotación “L_F”	265,31 m
Manga de trazado “B”	47,00 m
Calado en perpendicular de proa “T_{pr}”	16,80 m
Calado en perpendicular de popa “T_{pp}”	16,80 m
Posición longitudinal del centro de carena “X_B”	3,1
Coeficiente de la maestra “C_m”	0,9975
Coeficiente de la flotación “C_wp”	0,9119
Superficie mojada del casco “S”	18.743,2 m ²
Semiángulo de entrada en la flotación “α”	51 °
Tipo de secciones	NORMALES
Área transversal del bulbo en la pp de proa “A_{TB}”	152,8 m ²
Altura del C.D.G. del área del bulbo “H_{ATB}”	8,40 m
Longitud del bulbo desde la pp de proa (Pr)	13,39 m
Área sumergida del espejo de popa (A_{ESP})	9,3 m ²
Área expuesta al viento (A_V)	805,0 m ²
Número de timones	1
Área del timón “A_{TIM}”	105,0 m ²
Numero de propulsores	1

Solo se van a considerar como apéndices el timón y el propulsor, descartando otros como quillas de balance, estabilizadores, quillotes, etc.

El área del timón se ha estimado a partir del buque base. Además son necesarios otros factores que el programa estima a partir de los datos introducidos, estos parámetros son los siguientes:

Rugosidad media del casco “R_{CASCO}”	150 Micras
Coeficiente de forma “K_F”	0,3493
Coeficiente de correlación modelo-buque “C_{CORR}”	0,2841

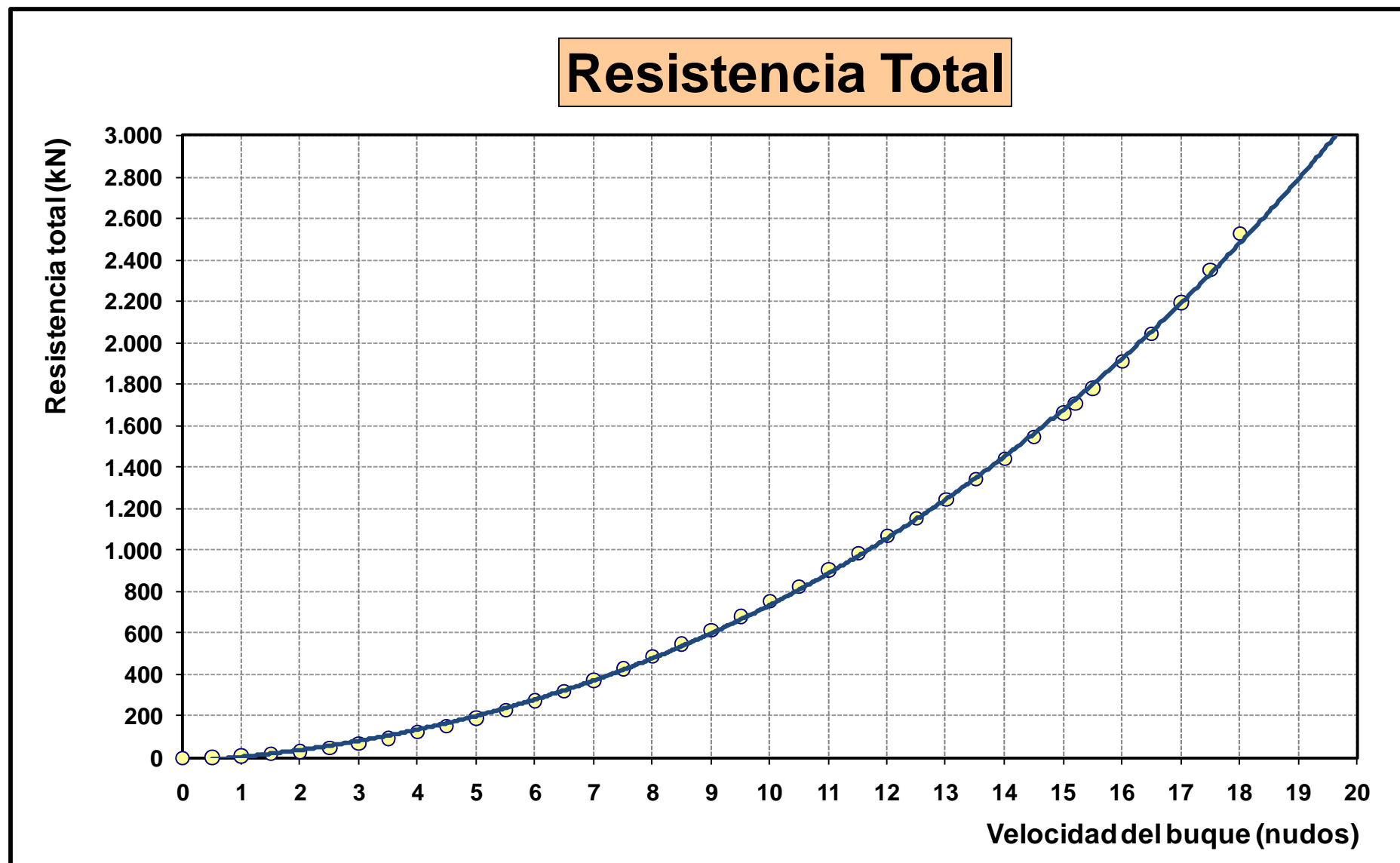
Con todo ello se obtiene para cada velocidad del buque (entre 0 y 18 nudos) la resistencia total al avance “R_T” que ofrecen las formas, así como la potencia necesaria para moverlas a esa velocidad “EHP”, que como es sabido se relacionan mediante la siguiente expresión:

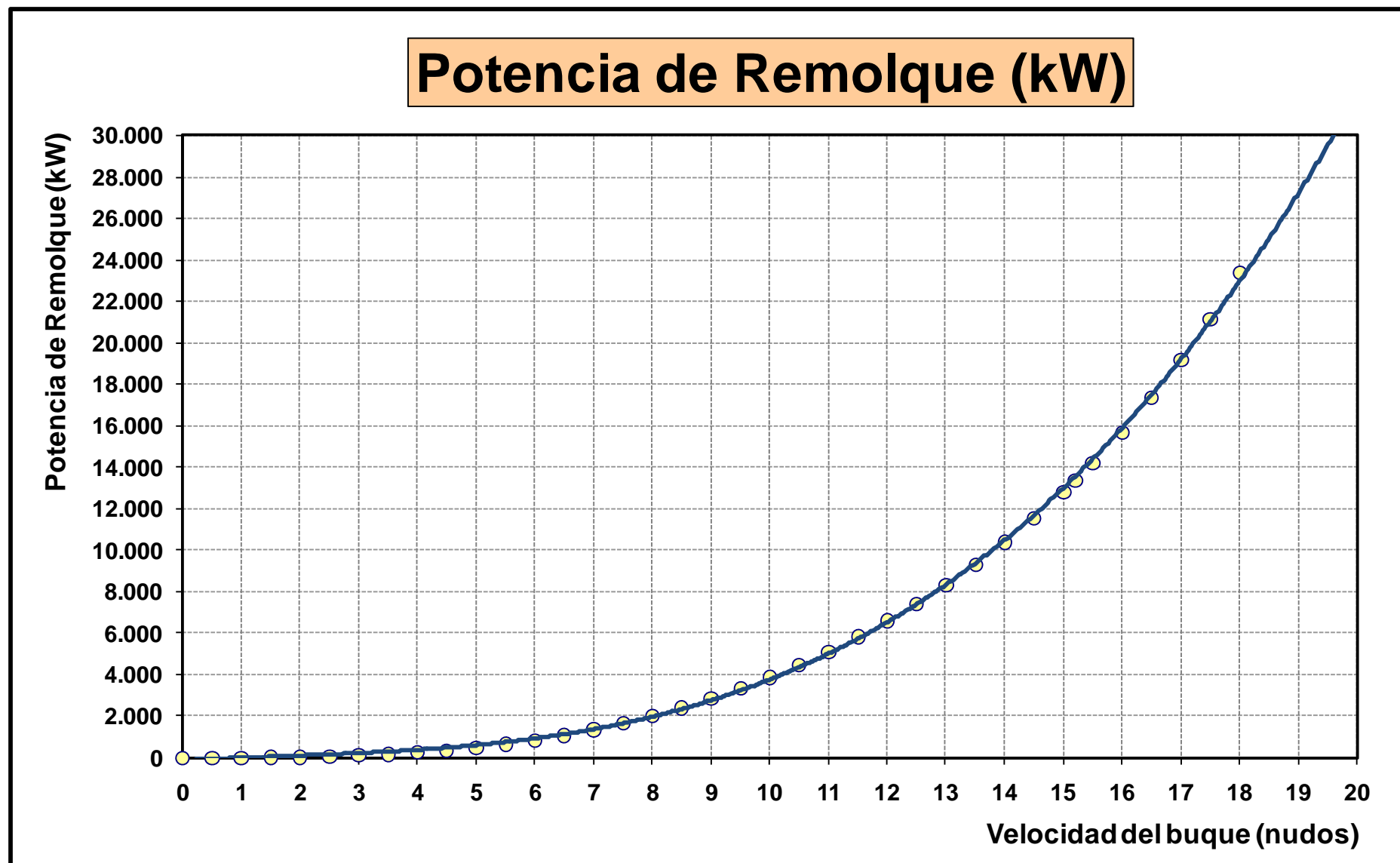
$$EHP = \frac{R_T \cdot v}{75}$$

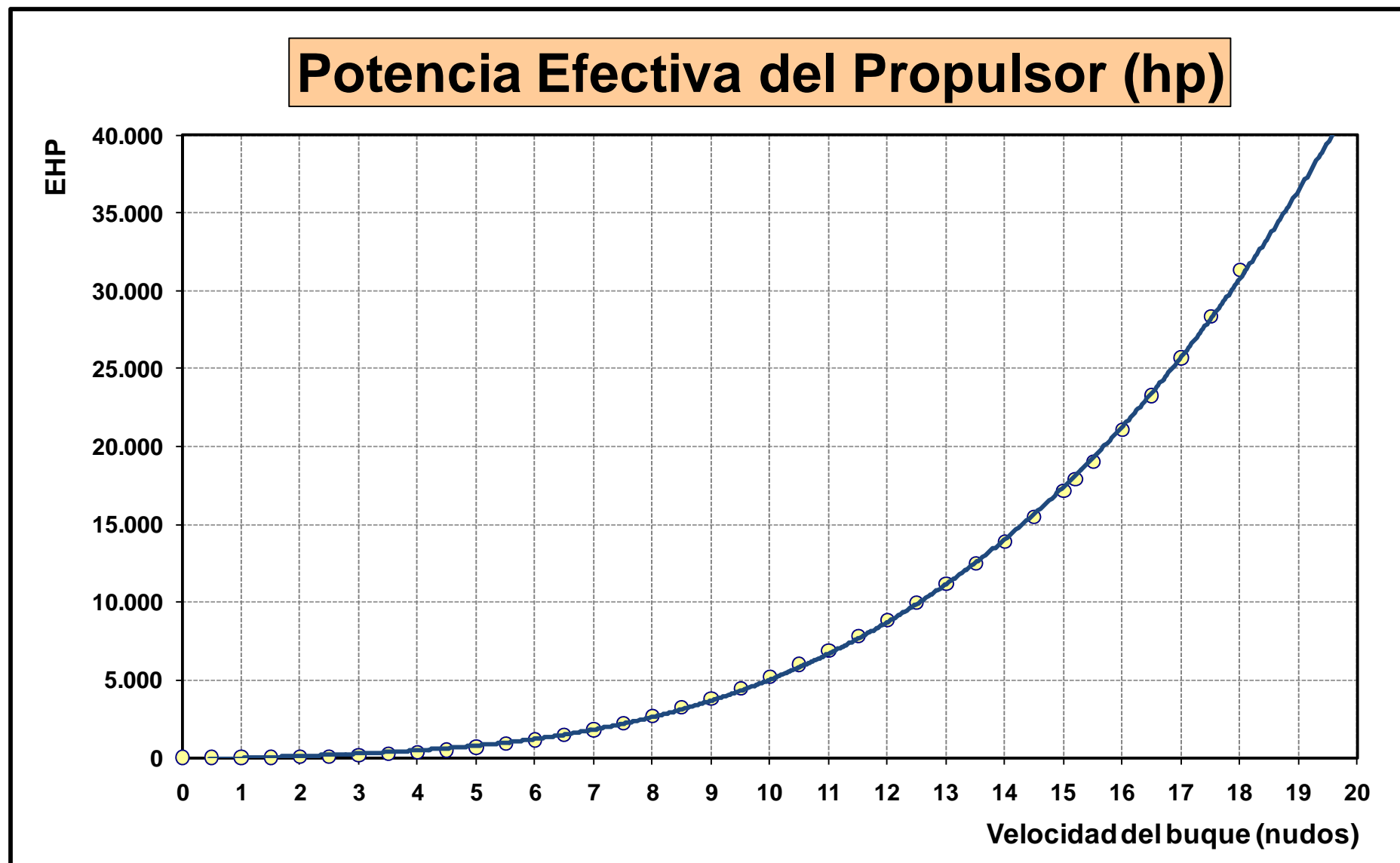
Los resultados generados se presentan en forma de tabla y de gráfico en las siguientes páginas:



Velocidad (nudos)	Resistencia al avance (kN)	Potencia de remolque (kW)	EHP (hp)
0,0	0,0	0,0	0,0
0,5	2,2	0,6	0,8
1,0	8,3	4,3	5,8
1,5	18,0	13,9	18,6
2,0	31,4	32,3	43,3
2,5	48,5	62,3	83,5
3,0	69,3	107,0	143,4
3,5	94,0	169,3	226,9
4,0	122,6	252,2	337,9
4,5	155,0	358,7	480,7
5,0	191,2	491,8	659,0
5,5	231,3	654,3	876,8
6,0	275,1	849,2	1137,9
6,5	322,7	1079,0	1445,9
7,0	373,9	1346,4	1804,2
7,5	428,7	1653,9	2216,2
8,0	486,9	2003,8	2685,1
8,5	548,5	2398,5	3214,0
9,0	613,4	2840,2	3805,9
9,5	681,5	3330,8	4463,3
10,0	752,8	3872,7	5189,4
10,5	827,1	4467,9	5987,0
11,0	904,6	5118,7	6859,1
11,5	985,1	5827,9	7809,4
12,0	1068,9	6598,3	8841,7
12,5	1156,0	7433,7	9961,2
13,0	1246,8	8338,5	11173,6
13,5	1341,7	9318,0	12486,1
14,0	1441,6	10382,6	13912,7
14,5	1548,1	11547,5	15473,7
15,0	1660,6	12814,5	17171,4
15,2	1707,6	13352,5	17892,4
15,5	1780,3	14195,5	19022,0
16,0	1907,9	15704,3	21043,8
16,5	2044,8	17357,1	23258,5
17,0	2192,3	19172,6	25691,3
17,5	2351,7	21172,0	28370,5
18,0	2524,8	23379,2	31328,1









3.2 Diseño del propulsor

En la especificación del proyecto se indica que el buque debe estar propulsado por una hélice de paso fijo la cual debe estar acoplada directamente al motor principal, esto significa que no hay reductores y por tanto, motor y hélice giran a las mismas revoluciones.

El objetivo fundamental del proceso que se describe en este punto es la obtención de un propulsor óptimo que necesite la menor potencia posible para dotar al buque de la velocidad de servicio, la cual es 15,2 nudos que ha sido impuesta por la especificación del proyecto.

En el estudio de definición del propulsor han de tenerse en cuenta una serie de factores importantes como son:

- El objetivo fundamental es la consecución del máximo rendimiento posible con objeto de rebajar los costes de construcción y explotación del buque.
- No se deben presentar fenómenos de cavitación en los regímenes de velocidad en los que vaya a operar el propulsor.
- El número de palas es un factor importante que repercute en los fenómenos de cavitación, rendimiento y vibraciones en el eje y en el motor propulsor.
- La resistencia estructural tanto de hélice, eje y demás elementos del sistema propulsivo, debe ser la suficiente para evitar el riesgo de fracturas o deformaciones ante los esfuerzos a los que se vean sometidas las palas del propulsor.
- El diámetro de la hélice " D_H " debe ser el máximo posible puesto que se da la relación de que a mayor diámetro mayor rendimiento del propulsor.
- Se deben cumplir ciertas disposiciones de la Sociedad de Clasificación del proyecto referentes a los huelgos entre hélice-casco-timón-línea base.

Número de Palas

La gran mayoría de los petroleros de tamaños similares o mayores al del buque proyecto, disponen de hélices de 4 o 5 palas, puesto que las de 3 originan problemas de vibraciones y cavitación, por ello se harán todos los cálculos para dos propulsores de 4 y 5 palas respectivamente.

Diámetro de la hélice

Como se ha indicado anteriormente la sociedad de clasificación del buque (Lloyds Register) impone una serie de huelgos entre el casco, la hélice, el timón y en el caso concreto de este buque la línea de base.

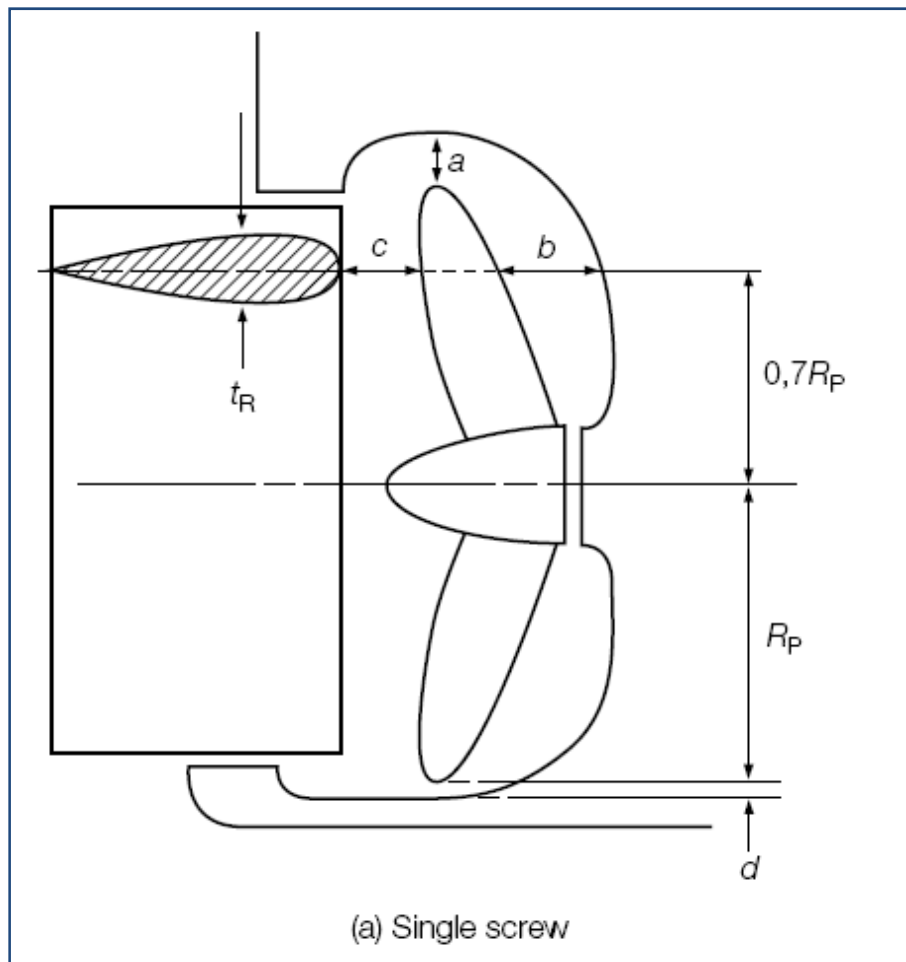
Estos huelgos están definidos en la Parte 3, Capítulo 6 Sección 7 del reglamento del Lloyds, lo dispuesto en la citada regla se incluye a continuación:



Table 6.7.5 Recommended propeller/hull clearances

Number of blades	Hull clearances for single screw, in metres, see Fig. 6.7.7(a)				Hull clearances for twin screw, in metres, see Fig. 6.7.7(b)	
	a	b	c	d	e	f
3	$1,20K\delta$	$1,80K\delta$	$0,12\delta$	$0,03\delta$	$1,20K\delta$	$1,20K\delta$
4	$1,00K\delta$	$1,50K\delta$	$0,12\delta$	$0,03\delta$	$1,00K\delta$	$1,20K\delta$
5	$0,85K\delta$	$1,275K\delta$	$0,12\delta$	$0,03\delta$	$0,85K\delta$	$0,85K\delta$
6	$0,75K\delta$	$1,125K\delta$	$0,12\delta$	$0,03\delta$	$0,75K\delta$	$0,75K\delta$
Minimum value	0,10 δ	0,15 δ	t_R	—	3 and 4 blades, 0,20 δ 5 and 6 blades, 0,16 δ	0,15 δ
Symbols						
<p>L as defined in 1.4.1 C_b = moulded block coefficient at load draught $K = \left(0,1 + \frac{L}{3050}\right) \left(\frac{3,48C_b P}{L^2} + 0,3\right)$ $\left(K = \left(0,1 + \frac{L}{3050}\right) \left(\frac{2,56C_b P}{L^2} + 0,3\right)\right)$</p>						
<p>t_R = thickness of rudder, in metres, measured at 0,7R_P above the shaft centreline P = designed power on one shaft, in kW (shp) R_P = propeller radius, in metres δ = propeller diameter, in metres</p>						
<p>NOTE The above recommended minimum clearances also apply to semi-spade type rudders.</p>						

Una imagen que muestra estos huelgos es la siguiente:





El objetivo que se persigue es ir a una solución de máximo diámetro que es, a su vez, la que produce el máximo rendimiento. A este respecto el parámetro más limitante de los indicados en el reglamento es el “d”, que para el buque proyecto es la distancia entre extremo de la hélice y la línea de base.

Para todas las hélices, independientemente de su número de palas esta distancia debe ser de al menos el 3% del diámetro de la hélice. La altura de la línea del eje del propulsor es de 4,37 metros por lo que puede calcularse el máximo diámetro admisible con estas limitaciones a través de la siguiente expresión:

$$\frac{D_{H \max}}{2} + 0,03 \cdot D_{H \max} = 4,37$$

Por tanto, el diámetro del propulsor máximo admisible es 8,245 metros, se tomará un valor de 8,20 metros para continuar con los cálculos.

Proceso de cálculo del propulsor óptimo

Estos cálculos al igual que los del punto anterior se han realizado en el módulo POWER de FORAN60. Seguidamente se explica de forma resumida el proceso de cálculo que sigue el programa para la obtención del propulsor óptimo a partir de una serie de datos de entrada.

El cálculo del propulsor óptimo se realiza utilizando como punto de partida expresiones polinómicas de los diagramas K_T y K_Q . De los cuatro parámetros básicos que pueden manejarse para el cálculo del propulsor (J , η_P , K_T y K_Q), se obtienen las cuatro condiciones de partida que el programa admite para el cálculo de las características fundamentales del mismo. Las condiciones de proyecto posibles son:

1. A partir de la velocidad del buque y del diámetro del propulsor
2. A partir de la velocidad del buque y la velocidad del propulsor
3. A partir de la potencia al eje y del diámetro del propulsor
4. A partir de la potencia al eje y la velocidad de giro del propulsor

En este caso se utilizará el primer procedimiento puesto que son los datos que se han fijado para la optimización del propulsor.

El método de búsqueda del propulsor óptimo se realiza por aproximaciones sucesivas obteniéndose el grado de avance “J” para el cual el rendimiento del propulsor “ η ” es máximo. Para las condiciones de diseño 1 y 2 el cálculo se realiza a igualdad de empuje y para las condiciones 3 y 4 se realiza a igualdad de par.

En definitiva las condiciones de diseño 2 y 3 se reducen a las 1 y 2 respectivamente, con la diferencia de que en las condiciones 3 y 4 se comprueba que el par absorbido por el propulsor coincide con el par entregado por el motor, modificándose la velocidad obtenida después de cada iteración en función de la diferencia entre los pares del propulsor y motor obtenidos.

Además de los datos principales citados, el programa requiere también los siguientes datos:



- Porcentaje de la potencia instalada que se va a utilizar en condiciones de servicio.
- Aumento de la resistencia al avance por condiciones de mar y casco en condiciones de servicio
- Rendimiento mecánico de la línea de ejes

Las revoluciones nominales el motor en condiciones de servicio serán las que se obtengan a partir de las nominales al 100 % de potencia mediante una ley cúbica.

La condición de proyecto del propulsor se establece de forma que el propulsor absorba la potencia al eje corregida por el rendimiento mecánico de la línea de ejes y por el factor de potencia en condiciones de servicio; la velocidad de giro del propulsor “n” será la correspondiente en condiciones de servicio a la del motor corregida por el factor de ligereza del propulsor; el empuje del propulsor será igual a la resistencia de remolque teórica incrementada por el factor de mar y casco y corregida por el factor de deducción de empuje.

Como datos adicionales para el proyecto del propulsor se utilizan el número de palas, la altura mínima de línea de ejes, si existe alguna restricción y el número de propulsores.

El criterio de cavitación es el de BURRILL. La corrección por efecto de escala a las curvas K_T y K_Q del propulsor obtenidas a partir de las expresiones polinómicas se lleva a cabo de acuerdo con el método propuesto en la ITTC-1978.

Debido a ello, se han introducido los siguientes datos en el programa:

Método	WAGENINGEN B - SERIES
Numero de hélices	1
Número de palas de la hélice	4 y 5
Altura dela línea de ejes	4,371 m
Diámetro máximo de la hélice	8,200 m
Rendimiento mecánico	0,98
Factor de potencia en condición de servicio	90 %
Margen de potencia por mar y casco	15 %
Tipo de popa	CONVENCIONAL

Y las condiciones de optimización tal y como se ha explicado anteriormente son:

Velocidad requerida	15,2 nudos
Diámetro del propulsor	8,20 m

Para los cálculos se ha utilizado la serie sistemática B de Wageningen que como es sabido es un conjunto de hélices relacionadas entre sí de manera geométrica y sistemática, las cuales se han sido ensayadas en canal y han demostrado un buen rendimiento y comportamiento ante la cavitación.

Con todo ello se han obtenido los siguientes resultados para ambas hélices:



Para la alternativa de **4 palas**

CONDICIÓN	PREDICCIÓN DE VELOCIDAD				FACTORES PROPULSIVOS		
	Régimen	n_P	Velocidad	BKW	η_C	η_P	η
SERVICIO	87,5	81,9	13,33	13127,4	2,4898	0,2805	0,6978
	90,0	84,3	13,72	14277,6	2,4859	0,2810	0,6982
	92,5	86,6	14,09	15497,0	2,4824	0,2813	0,6979
	95,0	88,9	14,47	16784,0	2,4789	0,2816	0,6976
	97,5	91,3	14,84	18140,2	2,4756	0,2818	0,6972
	100,0	93,6	15,20	19573,3	2,4726	0,2817	0,6961
	102,5	96,0	15,56	21077,9	2,4696	0,2817	0,6954
PRUEBAS	87,5	81,9	14,16	12922,7	2,4817	0,2978	0,7385
	90,0	84,3	14,56	14058,7	2,4781	0,2980	0,7381
	92,5	86,6	14,95	15261,3	2,4747	0,2982	0,7374
	95,0	88,9	15,33	16534,1	2,4715	0,2981	0,7362
	97,5	91,3	15,70	17877,7	2,4684	0,2978	0,7348
	100,0	93,6	16,08	19291,0	2,4655	0,2977	0,7335
	102,5	96,0	16,44	20782,1	2,4627	0,2973	0,7317

Siendo:

- Régimen: Régimen de giro del motor propulsor (%)
- n_P : Velocidad de giro del propulsor (r.p.m)
- V: Velocidad del buque (nudos)
- BKW: Potencia al freno (kW)
- η_C : Rendimiento del casco
- η_P : Rendimiento del propulsor
- η : Rendimiento propulsivo total

Aplicando el margen de potencia (90 %) en condiciones de servicio se obtiene una potencia nominal de **21.748 kW (29.143 hp)**.

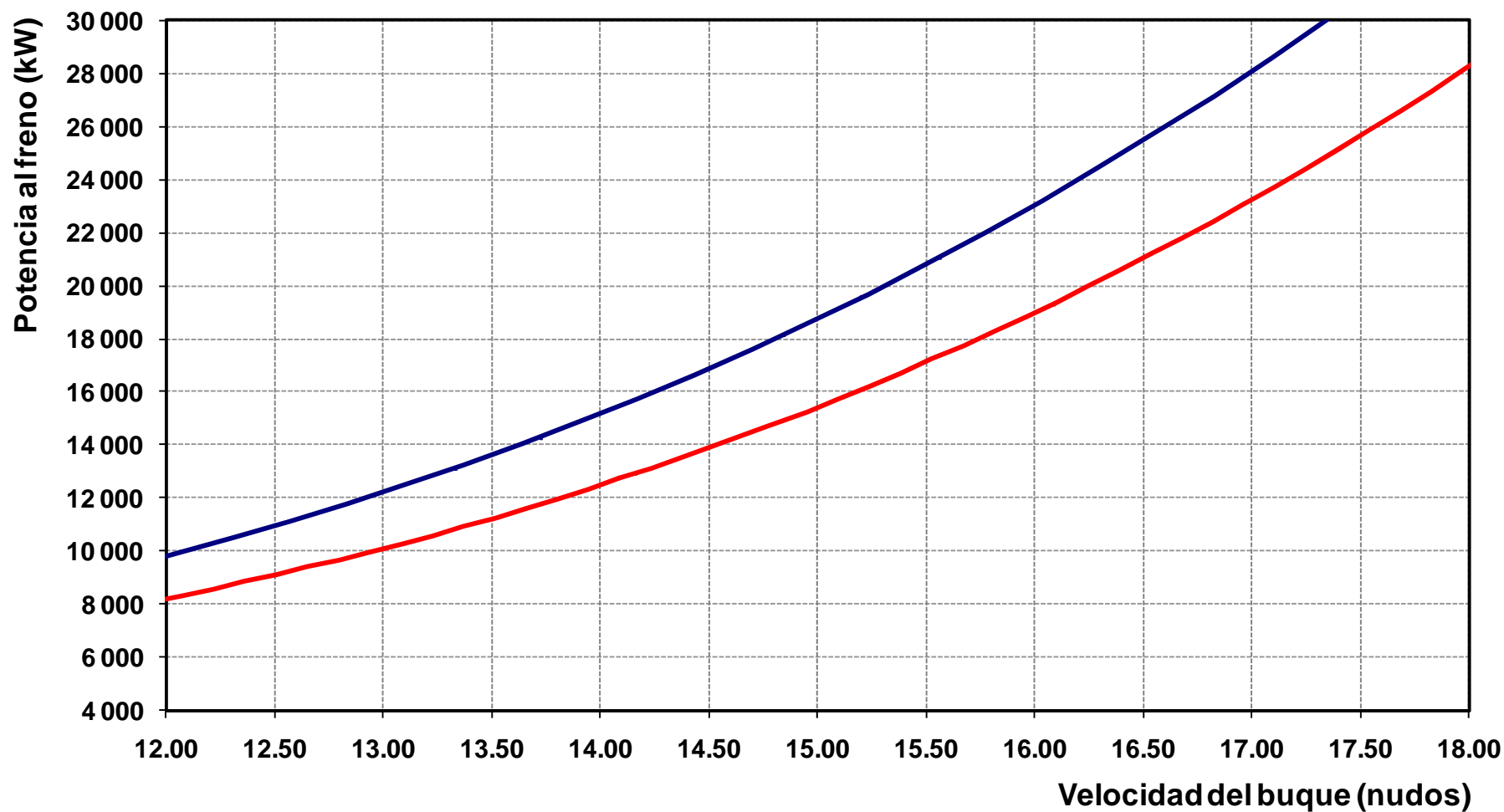
Las características del propulsor seleccionado son las siguientes:

Diámetro del propulsor "D_H"	8,20 m
Relación Área/Disco	0,645
Relación Paso/Diámetro	0,664
Deducción de empuje	0,2175
Rendimiento en aguas libres	0,2817
Rendimiento rotativo - relativo	1,0198

Seguidamente se representan las curvas de potencia-velocidad para la alternativa de cuatro palas, donde la curva en azul corresponde a la condición de servicio y la roja a la condición de pruebas.



Curvas de potencia Hélice de 4 palas





Por otro lado, para la alternativa de **5 palas** se han obtenido los siguientes resultados:

CONDICIÓN	PREDICCIÓN DE VELOCIDAD				FACTORES PROPULSIVOS		
	Régimen	η_P	Velocidad	BKW	η_c	η_P	η
SERVICIO	87,5	78,1	13,33	12933,4	2,4898	0,2851	0,7082
	90,0	80,4	13,72	14066,9	2,4859	0,2857	0,7086
	92,5	82,6	14,09	15268,6	2,4824	0,2860	0,7082
	95,0	84,8	14,47	16536,7	2,4789	0,2862	0,7079
	97,5	87,1	14,84	17875,3	2,4757	0,2864	0,7072
	100,0	89,3	15,2	19285,2	2,4726	0,2864	0,7065
	102,5	91,5	15,55	20770,1	2,4696	0,2863	0,7053
PRUEBAS	87,5	78,1	14,16	12742,0	2,4817	0,3026	0,7491
	90,0	80,4	14,56	13862,1	2,4781	0,3028	0,7487
	92,5	82,6	14,95	15048,1	2,4747	0,3030	0,7480
	95,0	84,8	15,33	16303,1	2,4715	0,3029	0,7467
	97,5	87,1	15,70	17627,7	2,4684	0,3026	0,7453
	100,0	89,3	16,08	19021,1	2,4655	0,3025	0,7440
	102,5	91,5	16,44	20491,0	2,4627	0,3021	0,7422

Aplicando el margen de potencia (90 %) en condiciones de servicio se obtiene una potencia nominal de **21.428 kW (28.714 hp)**.

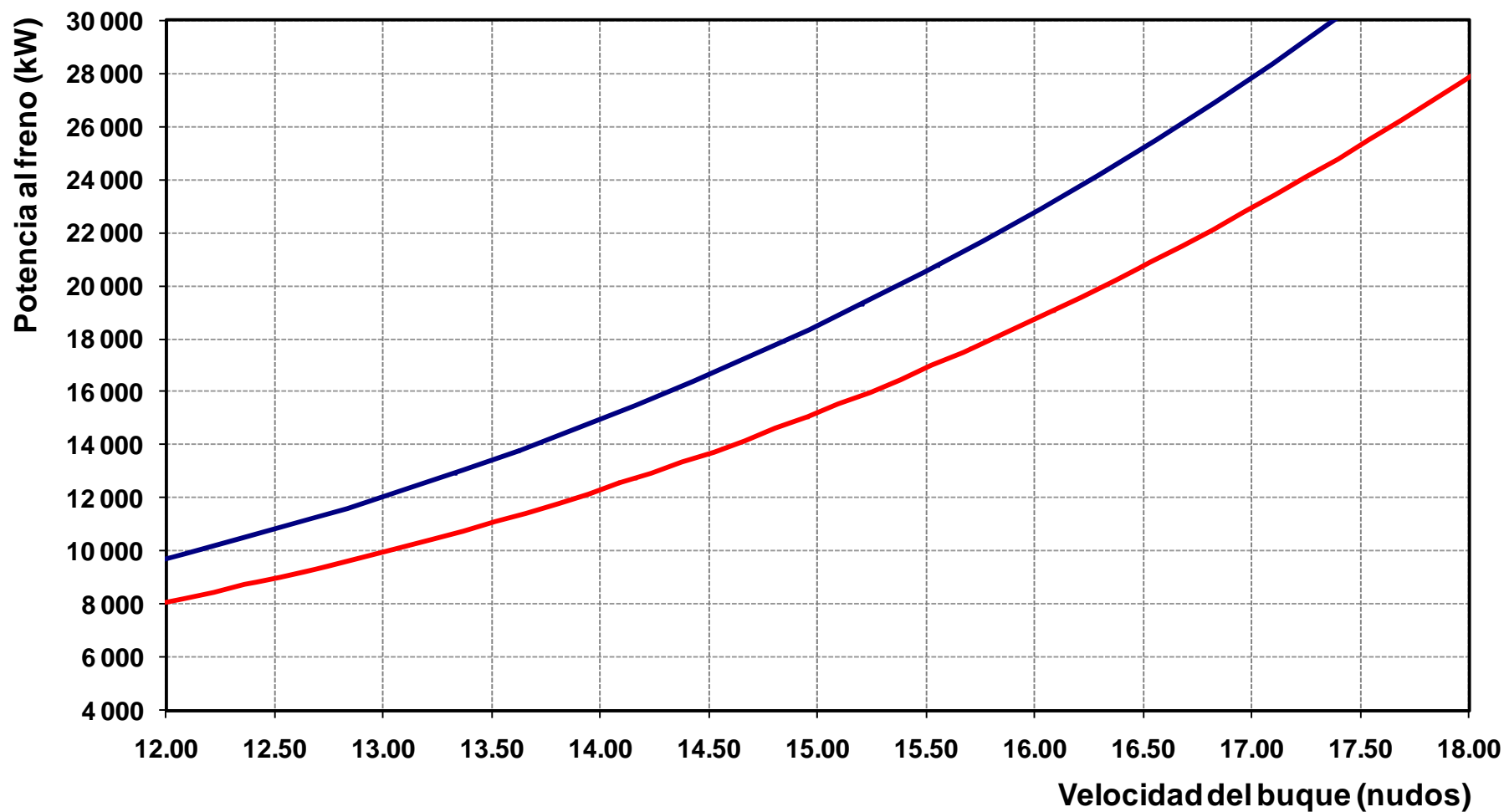
Las características del propulsor seleccionado son las siguientes:

Diámetro del propulsor " D_H "	8,20 m
Relación Área/Disco	0,675
Relación Paso/Diámetro	0,691
Deducción de empuje	0,2175
Rendimiento en aguas libres	0,2864
Rendimiento rotativo - relativo	1,0180

Como en el caso anterior a continuación se representan las curvas de potencia-velocidad para la alternativa de cinco palas, donde la curva en azul corresponde a la condición de servicio y la roja a la condición de pruebas.



Curvas de potencia Hélice de 5 palas





Como puede verse el rendimiento del propulsor de 5 palas es ligeramente superior que el de 4 palas, con lo que se escogerá el primero para seguir adelante con el diseño de la planta propulsora del buque.

En este punto ya se pueden calcular los huelgos requeridos por la sociedad de clasificación que son los siguientes:

a	1.546 mm
b	2.319 mm
c	984 mm
d	246 mm

Estos huelgos se comprobarán una vez diseñado el timón y acoplado a las formas del buque.



4 ELECCIÓN DEL MOTOR PRINCIPAL

Partiendo del dato de la potencia nominal necesaria para impulsar al buque a la velocidad requerida con la hélice de 5 palas, se va a seleccionar un motor propulsor cuyos requerimientos mínimos han de ser los siguientes:

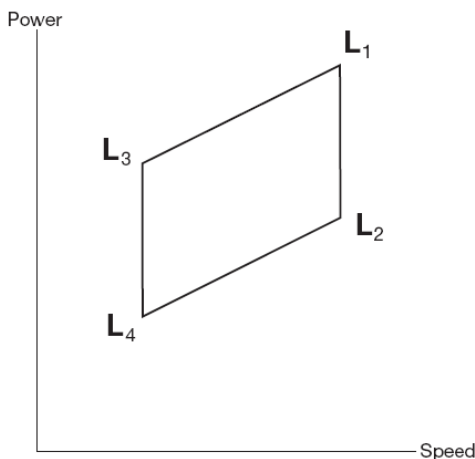
- Motor de 2 tiempos lento
- Potencia nominal de **21.428 kW (28.714 hp)**
- Revoluciones nominales del orden de **90 r.p.m.**

Para este rango de potencias, el mercado solo ofrece dos alternativas en cuanto a fabricantes que son:

- MAN B&W
- SULZER & WARTSILA

El proceso a seguir tiene como objetivo la elección del motor que mejor se adapte a los requerimientos de potencia del propulsor seleccionado cuyo punto de funcionamiento en la condición de servicio es 19.285 kW a 89,3 r.p.m.

La información de los distintos motores se ofrece con cuatro puntos en coordenadas de rpm – potencia, estos puntos forman un cuadrilátero representativo de cada motor dentro del cual deben estar los distintos puntos de funcionamiento en los que debe operar el motor, un esquema de uno de estos cuadriláteros es el siguiente:

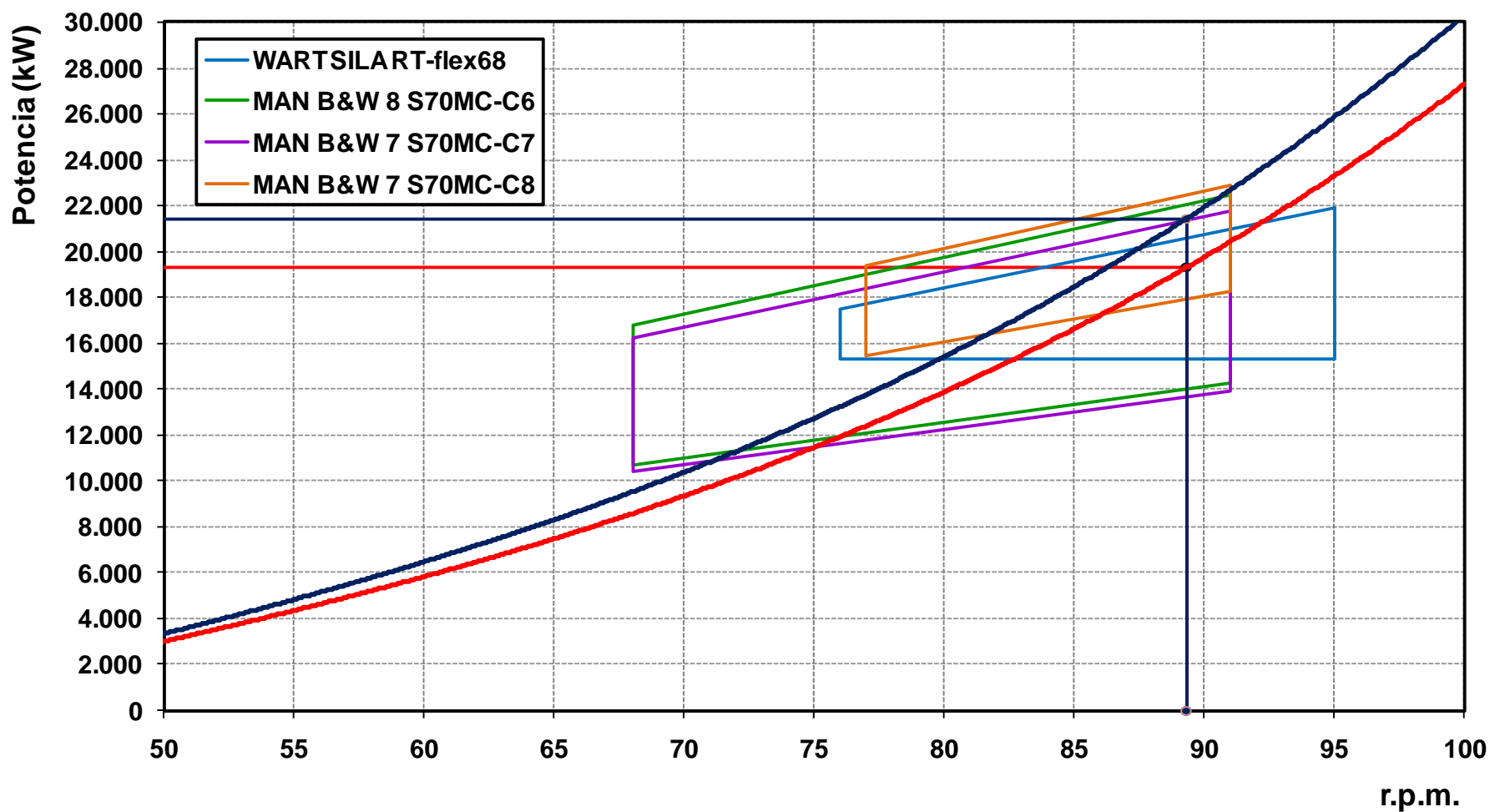


Este cuadrilátero está limitado por dos líneas con igual presión efectiva L_1 - L_3 y L_2 - L_4 y dos líneas de velocidad constante L_1 - L_2 y L_3 - L_4 . El punto L_1 se corresponde con el punto de nominal de potencia continua del motor, o lo que es lo mismo, el punto de máximo rendimiento.

En la siguiente gráfica se ha representado: La potencia que debe suministrar el motor en función de su velocidad de giro (color rojo), la potencia del motor al 100 % de potencia (color azul), el punto de operación a la velocidad de servicio del buque, el punto a las revoluciones nominales con motor al 100% y los cuadriláteros representativos de una serie de motores de ambos fabricantes que cumplen la condición de contener al punto de operación que se ha fijado:



Selección del motor propulsor



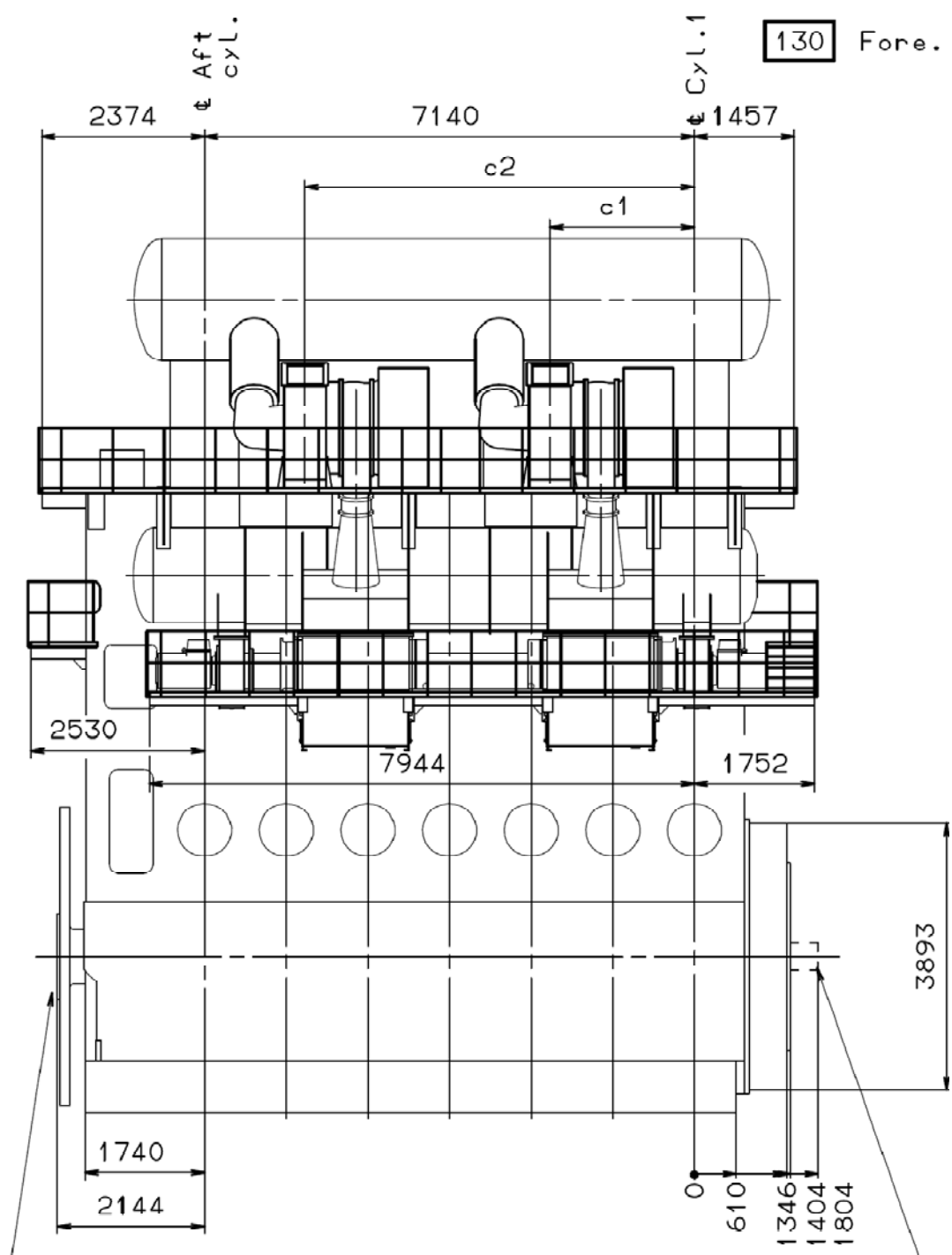


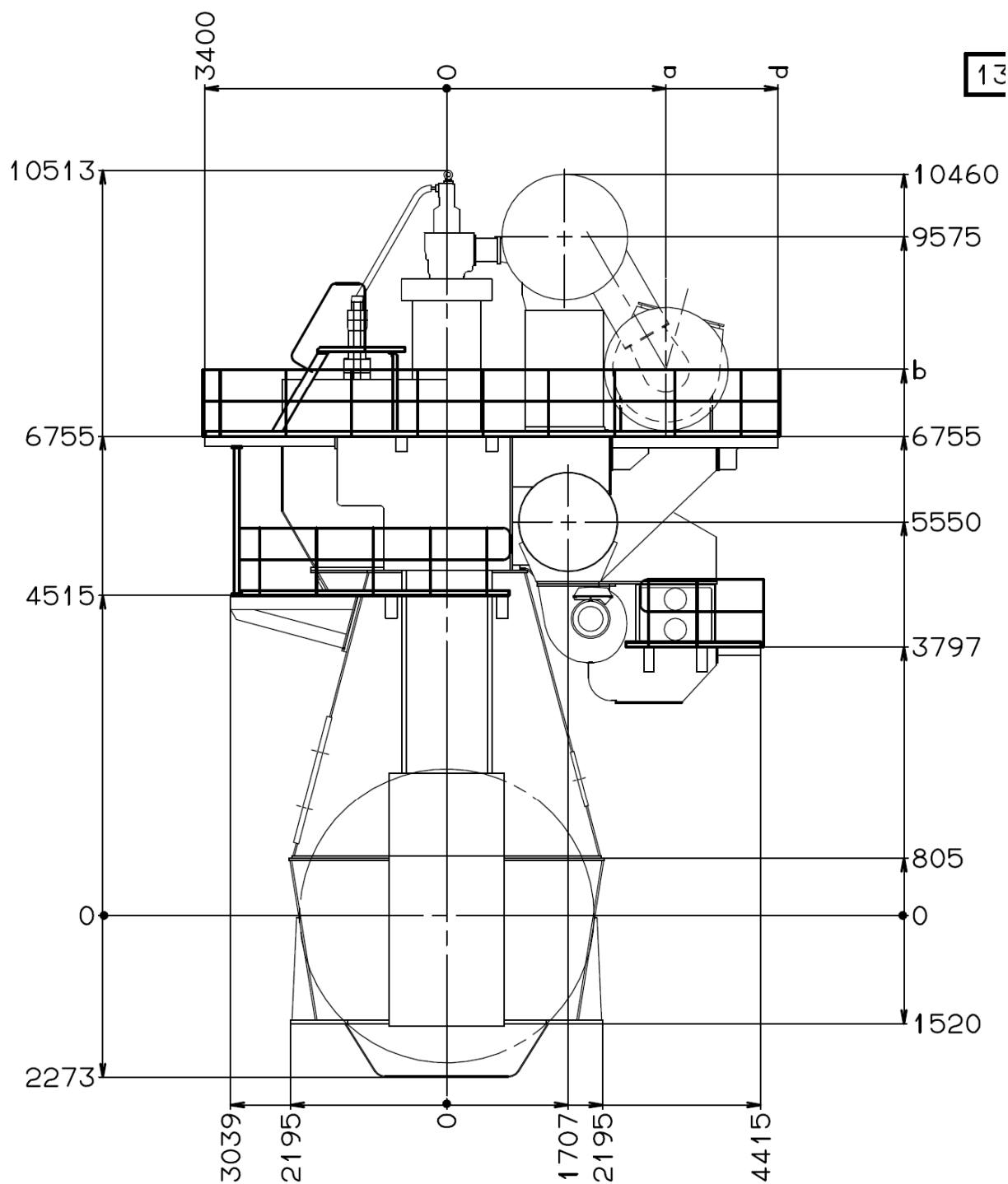
El criterio seguido para seleccionar uno de estos motores es que la distancia entre el punto de selección del motor (punto de motor al 100% de potencia y a las revoluciones nominales señalado en el gráfico en color azul) punto L_1 (esquina superior derecha) de cada motor sea mínima. De esta manera se estará lo más cerca posible del punto óptimo de operación de estos motores teniendo así el máximo rendimiento posible entre las diferentes alternativas.

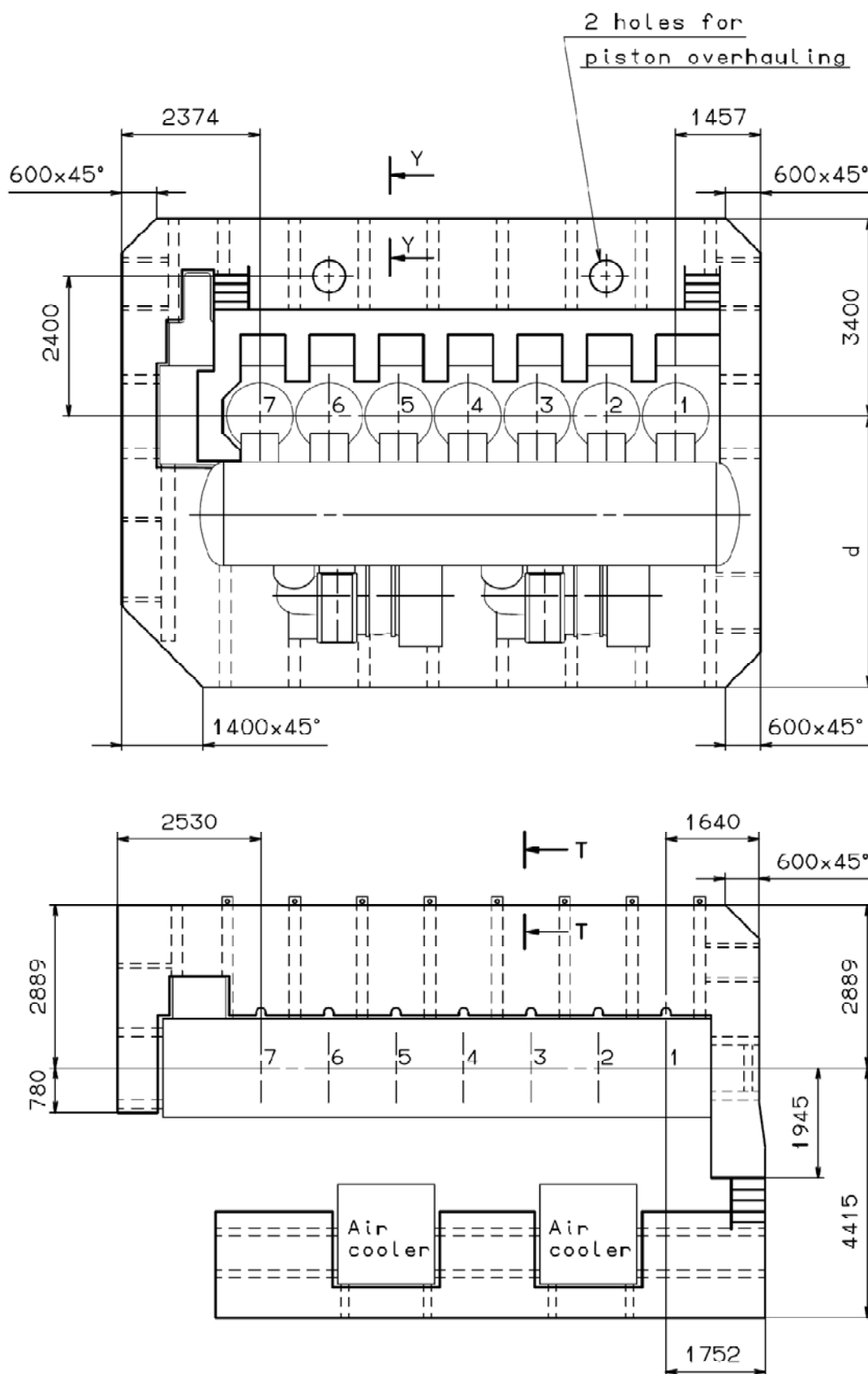
Por tanto, siguiendo el citado criterio el motor seleccionado es el MAN B&W 7 S70MC-C7, cuyas características principales son las siguientes:

Potencia nominal	21.770 kW
Revoluciones nominales	91 r.p.m.
Número de cilindros	7
Consumo específico 100 % potencia	169 g/kWh
Consumo específico 80 % potencia	166 g/kWh
Presión media efectiva (punto óptimo)	19,0 bar
Velocidad media del pistón	8,5 m/s
Consumo específico de aceite	0,15 g/kWh
Consumo específico de aceite cilindros	0,70 g/kWh
Caudal de gases de exhaustación (p.o.)	195,3 kg/h
Temperatura de los gases de exhaustación	245 °C
Masa del motor seco	624.000 kg
Masa de agua con el motor en servicio	1.910 kg
Masa de aceite con el motor en servicio	2.440 kg

A continuación se presentan una serie de imágenes sacadas del manual de especificación del motor, las siguientes muestran las dimensiones principales del motor:

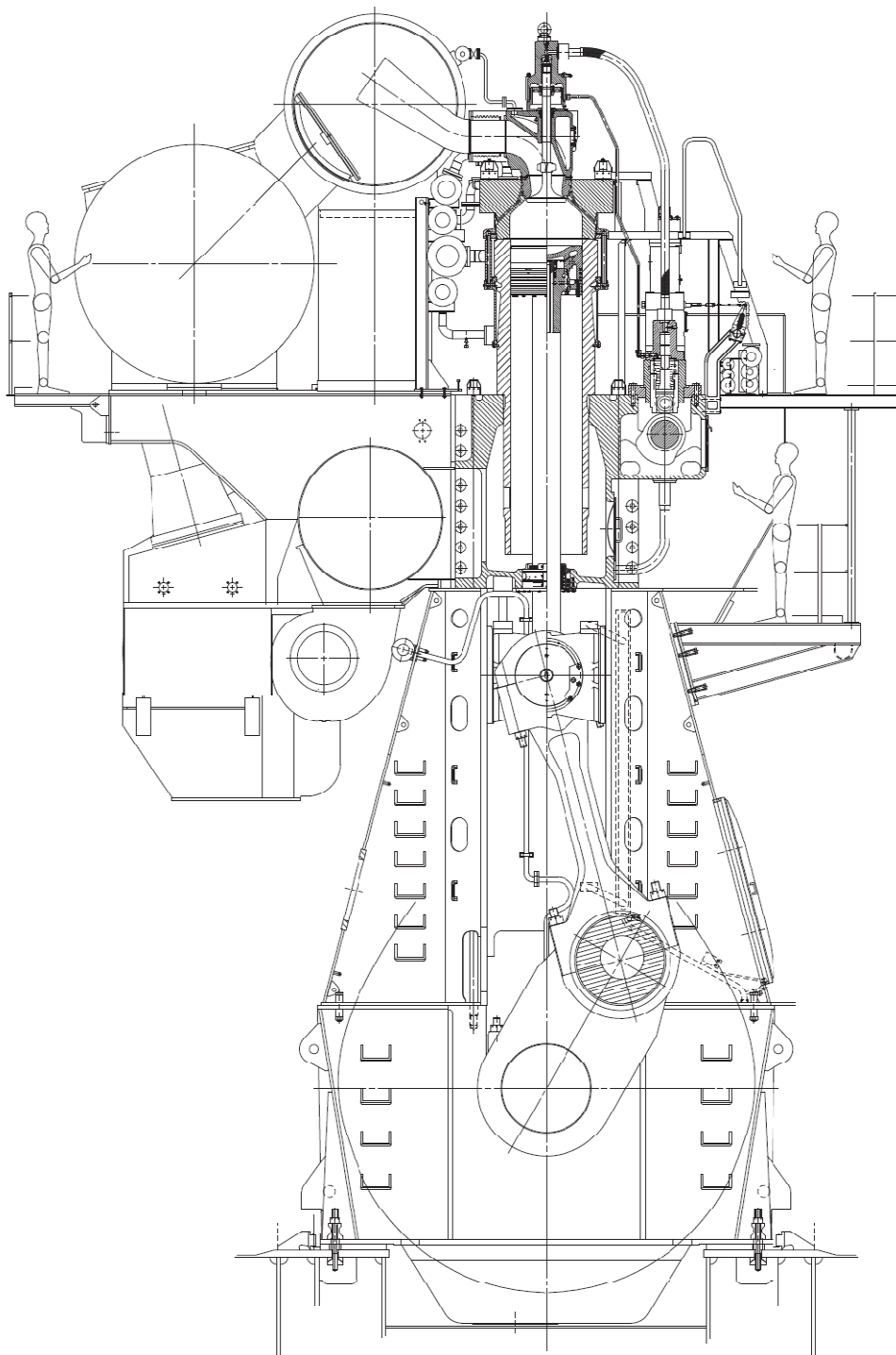








Una vista frontal del motor se puede ver en la siguiente imagen:



Como puede verse el motor seleccionado está ligeramente sobredimensionado con respecto a las necesidades reales de potencia del buque, por lo que se debería ajustar en banco de pruebas para que la presión máxima se alcance a la potencia realmente requerida por el buque a la velocidad de servicio.



5 DISEÑO DEL TIMÓN

El diseño del timón se va a realizar en base a la Tesis Doctoral de Antonio Baquero (Referencia [11] del punto 9 del presente documento)

Se pretende en este apartado el proyecto de un timón que proporcione al buque unas condiciones mínimas aceptables de maniobrabilidad, las cuales se resumen en los siguientes puntos:

- Capacidad de evolución: es la relación entre el diámetro de giro y la eslora del buque. Cuanto más pequeño sea este valor, para una eslora fija, menor será el diámetro de evolución y por tanto mejor maniobrabilidad presentará el buque. También se puede definir como la capacidad de realizar una maniobra con un fuerte ángulo de cambio de rumbo (al menos 180°) en un espacio físico reducido.
- Estabilidad de ruta: Es la capacidad para mantener un rumbo determinado usando el timón como elemento corrector. Esta cualidad es tanto mejor cuanto menor actividad se requiera del timón, tanto en amplitud de su giro como en frecuencia de utilización. Todo ello con objeto de disminuir la pérdida de velocidad y, en consecuencia, de mejorar las cualidades de explotación del buque.
- Facilidad de cambio de rumbo: Capacidad para cambiar de rumbo o trayectoria en el menor espacio y con la mayor rapidez posible. Se evalúa estimado la respuesta del buque en función del ángulo de giro del timón.

PARÁMETROS DE DISEÑO

Altura del timón " h_T ": debe ser inferior al 86% del vano total del codaste medido a la altura de la mecha " H_{VC} " (perpendicular de popa). Esta condición es el resultado de las siguientes consideraciones:

- La distancia mínima entre el canto alto del timón y la bovedilla ha de ser un 6% de " H_{VC} ", ya que no conviene acercar demasiado el timón a la bovedilla por ser ésta una zona de velocidades de flujo muy bajas y no ser aprovechable el área del timón en esta zona.
- La distancia entre el canto bajo del timón y la línea de quilla puede tomarse igual al 8% de " H_{VC} ", aunque esta distancia se tomará igual al huelgo inferior del propulsor (0,271 metros) para asegurar que el timón reciba todo el chorro de agua que lanza la hélice.

Teniendo en cuenta que para las formas adoptadas " H_{VC} " vale 13,384 metros, la altura del timón dejando la distancia recomendada entre su canto alto y la bovedilla (0,803) es **12,310 metros**:

Relación de alargamiento " λ ": Viene dada por el cociente entre la altura " h_T " y la cuerda " c_T " del timón (distancia del timón en la dirección del flujo entrante), esta relación debe mantenerse entre 1,4 y 2,0.

El límite inferior tiene por objeto limitar el par en la mecha necesario para mover el timón y el límite superior es para evitar el desprendimiento de flujo.



Relación de espesor “E”: Viene dada por el cociente entre el espesor “e_T” y la cuerda del timón “c_T”. Los límites establecidos en la referencia utilizada se fijan en 0,15 y 0,23

El valor mínimo está condicionado por aspectos de desprendimiento de flujo y el máximo para asegurar el buen funcionamiento de la hélice. Hay que tener en cuenta que si el espesor es demasiado grande se puede producir un efecto de bloqueo de flujo procedente de la hélice.

Área del timón “A_T”: Se define su valor como el producto de la cuerda “c_T” por la altura “h_T”. Esta área suele tomarse como porcentaje del área de deriva del buque (que se aproxima por el producto de la eslora por el calado).

Para este tipo de buques este parámetro se obtiene a través de la siguiente expresión:

$$\frac{A_T}{0,01 \cdot L \cdot T} \in [1,3; 1,9]$$

CÁLCULOS DE DEFINICIÓN DEL TIMÓN

En primer lugar se va a obtener el Área del timón fijando un valor intermedio de 1,8 en la anterior expresión:

$$\frac{A_T}{0,01 \cdot L \cdot T} = 1,6 \rightarrow A_T = 1,6 \cdot 0,01 \cdot 260,00 \cdot 16,80 = 78,62 \text{ m}^2$$

Con ello se puede calcular la cuerda equivalente (si fuese un timón rectangular):

$$c_T = \frac{A_T}{h_T} = \frac{78,62}{12,310} = 6,224 \text{ m}$$

Y la relación de alargamiento “λ” es:

$$\lambda = \frac{h_T}{c_T} = \frac{12,310}{6,224} = 1,979$$

Valor éste que está dentro del intervalo recomendado de [1,4; 2,0].

Para obtener la relación de espesor “E” se va a imponer la condición de que el ángulo de desprendimiento de flujo “θ_{desp}” sea superior a 35°, que será el ángulo máximo de trabajo del timón, de esta manera se asegura que no haya desprendimiento de flujo, y por tanto pérdida de eficiencia en el rango de funcionamiento del timón.

El valor de “θ_{desp}” puede obtenerse a través de la siguiente expresión:

$$\theta_{\text{desp}} = 7,11 \cdot (1 + 7E) \cdot \left(1 + \frac{1,25}{\lambda}\right) \cdot \left(1 + 0,048 \cdot \sqrt{\ln\left(1 + \frac{8}{\pi} \cdot \frac{K_T}{J^2}\right)}\right) \cdot \frac{h_T}{D_H}$$

Donde:



$$\frac{K_T}{J^2} = \frac{0,172}{0,289^2} = 2,055 \quad \text{En la condición de servicio, es el factor de carga de la hélice}$$

$$\frac{h_T}{D_H} = \frac{12,31}{8,20} = 1,501$$

Por tanto, se tiene una expresión lineal del ángulo de desprendimiento en función de la relación de espesor, o lo que es lo mismo, en función del espesor de la pala del timón:

$$\theta_{\text{desp}} = 18,546 + 129,824 \cdot E$$

Al variar "E" dentro del intervalo especificado se obtienen los siguientes ángulos de desprendimiento de flujo:

θ_{desp}	Relación de espesor "E"
38,02	0,15
39,32	0,16
40,62	0,17
41,91	0,18
43,21	0,19
44,51	0,20
45,81	0,21
47,11	0,22
48,41	0,23

Como se ve, en todos los casos el ángulo de desprendimiento resulta ser superior a 35°. Con objeto de conseguir un timón lo más ligero posible y, por tanto, exigir una menor potencia del servo, se selecciona la alternativa de menor relación de espesor posible, que es 0,15. Por tanto el espesor máximo del timón será:

$$e_T = E \cdot c_T = 0,15 \cdot 6,224 = \mathbf{0,934 \text{ m}}$$

Los parametros que se han obtenido y que definen el timón son:

Área del timón "A _T "	78,62 m ²
Altura del timón "h _T "	12,310 m
Cuerda "c _T "	6,224 m
Espesor "e _T "	0,934 m
Ángulo de desprendimiento de flujo "θ _{desp} "	38,0°
Relación de alargamiento "λ"	1,979
Relación de espesor "E"	0,15



SUPERFICIE DE COMPENSACIÓN DEL TIMÓN

Se va a pasar a hacer un cálculo del par necesario para accionar el timón definido en el punto anterior, en base a ello se obtendrá un valor óptimo de la superficie de compensación (área del timón a proa de la perpendicular de popa) que haga que el par, y por tanto la potencia necesaria del servomotor sea la mínima posible.

Primeramente se obtiene una expresión que relaciona la distancia del centro de presiones de la pala al borde de entrada del timón " x_T " con el ángulo de giro del timón " θ_T ":

$$\frac{x_T}{c_T} = (1 - A \cdot \theta_T) \cdot (B + C \cdot \theta_T)$$

Donde:

$$A = 0,00428$$

$$B = \frac{L}{L + 2,25} \cdot \frac{2,166 \cdot E}{1 + 0,644 \cdot \left(1 - \exp\left(-\frac{0,375 \cdot K_T}{J^2}\right)\right)} = 0,24621$$

$$C = \left(1,268 - 3,6 \cdot E - 0,0083 \cdot \frac{K_T}{J^2}\right) \cdot 10^{-2} = 0,00711$$

Por tanto:

$$\frac{x_T}{c_T} = (1 - 0,00428 \cdot \theta_T) \cdot (0,24621 + 0,00711 \cdot \theta_T)$$

El par en la mecha del timón " Q_T " para cualquier ángulo de giro viene dado por:

$$Q_T = F_n \cdot \left(\frac{x_T}{c_T} - \frac{x_{T0}}{c_T}\right) \cdot c_T$$

Siendo:

$$F_n \text{ "la fuerza normal a la pala del timón"} \quad F_n = \frac{F_t}{c \cdot \cos \theta_T} \approx \text{cte} \cdot \theta_T$$

" x_{T0} " distancia desde el eje de la mecha del timón hasta su borde de entrada

Combinando ambas expresiones queda:

$$Q_T = \text{cte} \cdot \theta_T \cdot \left((1 - A \cdot \theta_T) \cdot (B + C \cdot \theta_T) - \frac{x_{T0}}{c_T}\right) \cdot c_T$$

Como el máximo par se dará para el máximo ángulo de giro del timón, que se fijará en 35° , se derivará en función de " θ_T " la expresión anterior y se igualará a 0 para $\theta_T = 35^\circ$. De esta forma, se puede obtener el valor de " x_{T0} " que, a su vez, proporciona la superficie de compensación óptima para el timón que se ha diseñado.

$$\frac{dQ_T}{d\theta_T} = 3 \cdot A \cdot C \cdot \theta_T^2 - 2 \cdot (C - A \cdot B) \cdot \theta_T - \left(B - \frac{x_{T0}}{c_T}\right)$$

Particularizando para $\theta_T = 35^\circ$ y sustituyendo valores queda:



$$\left. \frac{dQ_T}{d\theta_T} \right|_{\theta_T=35^\circ} = 0 \rightarrow \frac{x_{T0}}{c_T} = 0,2422$$

Lo que supone un área de compensación de 19,04 m². Llegados a este punto ya se tienen todos los parámetros del timón necesarios para acoplarlo a las formas del buque, en el punto 7 de este documento se mostrará un croquis de la zona del codaste con la disposición del timón y del propulsor diseñados.

POTENCIA NECESARIA DEL SERVOMOTOR

Para realizar una estimación de la potencia del servomotor que acciona el timón, primeramente se va a calcular la fuerza lateral que actúa sobre el centro de presiones de la pala del timón; Para su cálculo, la sociedad de clasificación proporciona una expresión en la Parte 3, Capítulo 13 Sección 2 de su reglamento:

$$F_L = 132 \cdot c_1 \cdot c_2 \cdot c_3 \cdot C_{TH} \cdot A_T \cdot v^2$$

Donde los coeficientes c_1 , c_2 , c_3 y C_{TH} se obtienen en función de los distintos parámetros y del tipo de timón. Esta expresión permite calcular esta fuerza lateral tanto en marcha adelante " F_{LA} " como cuando " F_{LC} ":

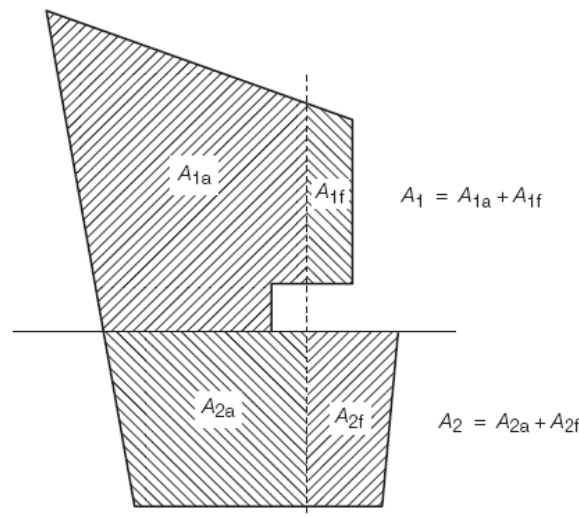
$$F_{LA} = 132 \cdot \frac{\frac{12,31^2}{95,03} + 2}{3} \cdot 1,1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 78,62 \cdot 15,2^2 = 9.480,67 \text{ kN}$$

$$F_{LC} = 132 \cdot \frac{\frac{12,31^2}{95,03} + 2}{3} \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 78,62 \cdot 7,6^2 = 1.723,76 \text{ kN}$$

Para la realización de estos cálculos se ha supuesto un perfil tipo NACA. A partir de estas fuerzas laterales se determina el par que es necesario aplicar en la mecha del timón. Para ello el reglamento divide el par en dos sumandos:

$$Q_T = Q_1 + Q_2$$

Que respectivamente son el par necesario en la parte alta y baja del timón según una relación de áreas que se indica en la siguiente figura:





De este modo se han obtenido cada uno de los dos sumandos que resultan ser:

$$Q_1 = \frac{A_1}{A_T} \cdot F_{LA} \cdot e_T \cdot \left(0,33 \cdot \frac{A_{1f}}{A_1}\right) = 713,8 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$Q_2 = \frac{A_2}{A_T} \cdot F_{LA} \cdot e_T \cdot \left(0,33 \cdot \frac{A_{2f}}{A_2}\right) = 493,0 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$Q_T = Q_1 + Q_2 = 713,8 + 493,0 = \mathbf{1.206,8 \text{ kN} \cdot \text{m}}$$

Para calcular la potencia la sociedad de clasificación impone el criterio de que el timón debe ser capaz de moverse desde 35° a una banda hasta 30° a la otra en un tiempo de 28 segundos navegando el buque a la velocidad de servicio (Parte 5, capítulo 19, Sección 2, Regla 2.1.2.):

$$\text{Potencia necesaria} = Q_T \cdot \frac{(35 + 30) \cdot 2\pi}{360 \cdot 28} = 48,9 \text{ kW}$$

Suponiendo un servomotor electrohidráulico movido por electrobombas con un rendimiento de la instalación de 65% y suponiendo un factor de seguridad del 5%, la potencia del servomotor ha de ser:

$$P_{\text{Servo}} = 1,05 \cdot \frac{1}{0,65} \cdot 48,9 = \mathbf{79,00 \text{ kW}}$$



6 ESTIMACIÓN DE LA MANIOBRABILIDAD

Como se comentó en el punto anterior, las condiciones de maniobrabilidad se pueden medir a través de tres características, las cuales se evalúan a continuación a partir del timón que ha sido definido:

6.1 Capacidad de evolución

Esta capacidad se mide a partir de la relación entre el diámetro de giro “ D_G ” y la eslora “ L ” del buque cuando el timón está metido a su máximo ángulo de trabajo, que para este buque se ha impuesto en 35° . Un valor apropiado para esta relación debe cumplir con la siguiente condición:

$$\frac{D_G}{L} < 7,2 - 5 \cdot C_b = 3,05$$

Esta relación se puede obtener a través de la siguiente expresión:

$$\frac{D_G}{L} = \frac{2}{\sin(2 \cdot \theta_T)} \cdot 0,024 \cdot \frac{L}{B} \cdot \frac{1}{C_b^2} \cdot \frac{W_L \cdot v^2}{\frac{F_n}{\theta_T} \cdot L} \Bigg|_{\theta_T=35^\circ}$$

Donde “ W_L ” es el peso en rosca del buque (24.834 t) y “ F_n ” la fuerza normal a la pala del timón que se puede calcular a partir de la siguiente expresión:

$$\frac{F_n}{\theta_T} \Bigg|_{\theta_T=35^\circ} = \frac{1}{C_T \cdot \cos \theta_T} \cdot \frac{C_{FT}}{\theta_T} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho_{A.Salada} \cdot A_T \cdot (v \cdot (1 - w))^2$$

Donde “ w ” es el factor de estela (que se ha estimado en 0,556) y “ C_{FT} ” el coeficiente adimensional de la fuerza tangencial ejercida sobre el timón (cuya razón con el ángulo de giro del timón “ θ_T ” se ha estimado en 7,943). Con todo ello ya se puede obtener el valor de $\frac{D_G}{L}$ que resulta ser **0,317**, con lo cual se cumple el criterio impuesto para la capacidad de evolución.

6.2 Estabilidad de ruta

Las maniobras que miden esta cualidad del buque son la maniobra de zig-zag y la maniobra en espiral, que proporcionan información sobre la existencia o no de un ciclo de histéresis así como su magnitud.

Según el criterio de Gertler, el valor máximo de la anchura del ciclo de histéresis “ A_{HIST} ” obtenido a partir de la siguiente expresión no debe ser superior a 4° :

$$A_{HIST} = 18,12 - \frac{46,43}{T_m}$$



Donde “ T_m ” es el índice de Nomoto, que es un parámetro representativo de la rapidez de respuesta del buque ante el ciclo de histéresis. Según la condición anterior se ha de cumplir que:

$$\frac{1}{T_m} \geq 0,305$$

Para calcular el valor de “ T_m ” se va a suponer un trimado nulo (condición de proyecto), el índice viene dado por la siguiente expresión:

$$\frac{1}{T_m} = \frac{d_1}{K_i^2 + K_j^2} \cdot (1 + G)$$

Donde “ K_i ” y “ K_j ” son respectivamente los radios de inercia de la masa del buque y de la masa de agua arrastrada, sus valores recomendados en la referencia [11] son: $K_i = 0,240$ y $K_j = 0,185$.

“ d_1 ” y “ G ” son coeficientes que se obtienen a partir de las dimensiones del buque, el área del timón, el factor de estela “ w ” y del coeficiente adimensional de la fuerza tangencial “ C_{FT} ” (cuya razón con el ángulo de giro del timón “ θ_T ” se ha estimado en 7,943). Con todo ello los valores de “ d_1 ” y “ G ” son:

$$d_1 = 0,0176$$

$$G = 1,5498$$

Por tanto:

$$\frac{1}{T_m} = \frac{0,01760}{0,240^2 + 0,185^2} \cdot (1 + 1,5498) = \mathbf{0,489} > 0,305$$

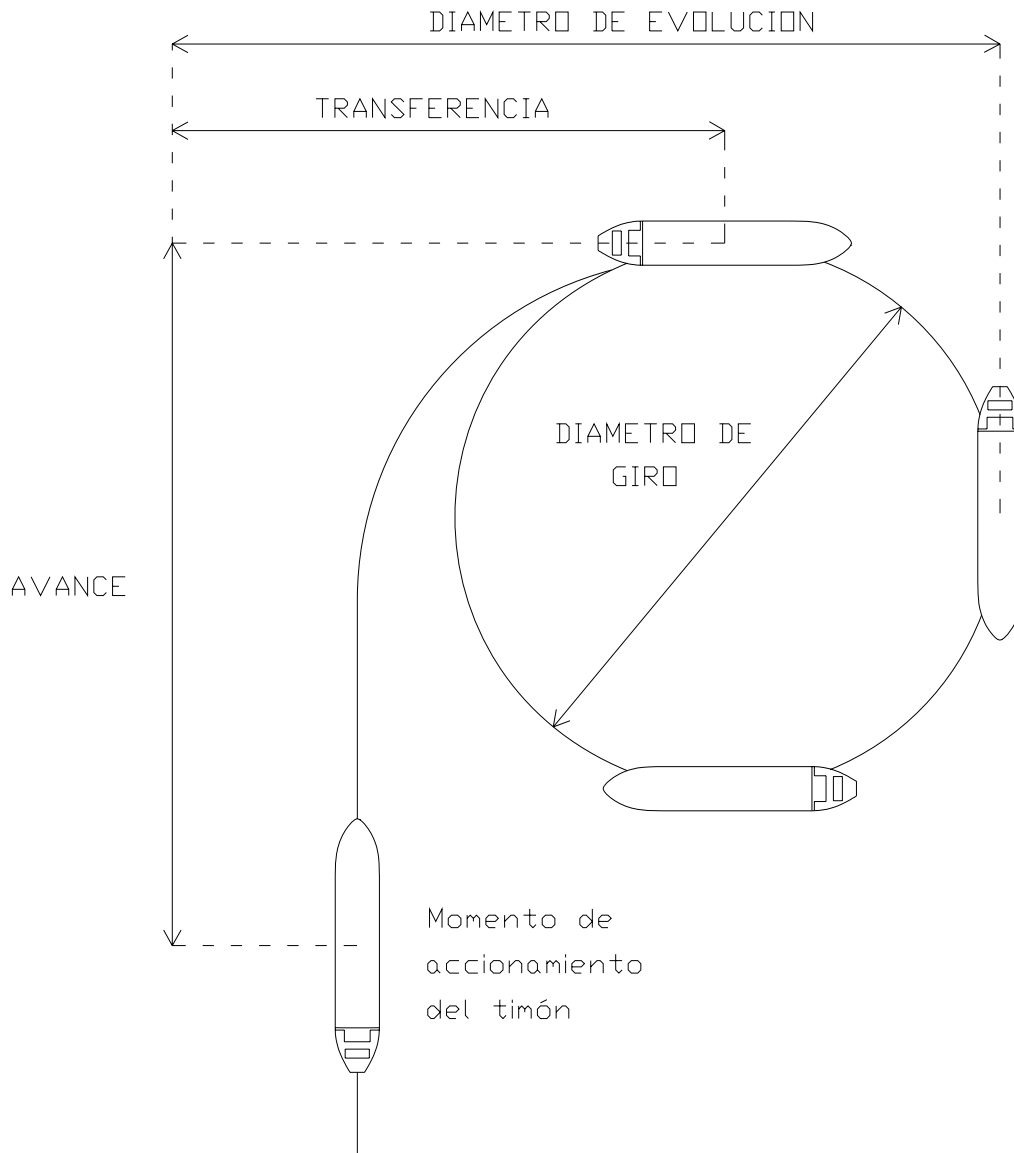
Por lo que se cumple el criterio de Gertler de estabilidad en ruta.

6.3 Facilidad de cambio de rumbo

Esta característica se refiere a la capacidad del buque para cambiar de rumbo en el menor espacio posible. Las magnitudes que se utilizan para medir esta característica del buque son:

- Diámetro de giro “ D_G ”
- Diámetro de evolución “ D_E ”
- Avance “ Av ”
- Caída o Transferencia “TRANS”

Todas ellas se pueden apreciar en la siguiente imagen:



El valor de estos parámetros se va a obtener en base a lo dispuesto en la circular MSC.137(76) "Normas sobre maniobrabilidad de buques" de la OMI (Organización Marítima Internacional)

Diámetro de giro: La expresión para determinarlo es la siguiente:

$$D_G = L \cdot \left(4,19 - 203 \cdot \frac{C_B}{\theta_T} + 47,4 \cdot \frac{T_{popa} - T_{proa}}{L} - 13 \cdot \frac{B}{L} + \frac{194}{\theta_T} - 35,8 \cdot \frac{A_T}{L \cdot T} \right)$$

Para $\theta_T = 35^\circ$ y con los datos del buque proyecto, se obtiene un valor del diámetro de giro de:

$$D_G = 500,37 \text{ m}$$



Diámetro de evolución: Se obtiene a través de la siguiente expresión:

$$D_E = L \cdot \left(0,91 \cdot \frac{D_G}{L} + 0,234 \cdot \frac{v}{\sqrt{L}} + 0,675 \right) = \mathbf{688,19 \text{ m}}$$

Según la referencia indicada anteriormente, el diámetro de evolución según se ha definido no debe exceder 5 veces la eslora del buque, que para este caso es 1.300 metros, por tanto, se cumple sobradamente con este criterio.

Avance: Se obtiene a través de la siguiente expresión:

$$A_v = L \cdot \left(0,519 \cdot \frac{D_E}{L} + 1,33 \right) = \mathbf{702,97 \text{ m}}$$

Este valor no debe ser mayor de 4,5 veces la eslora del buque según la citada referencia de O.M.I., que es 1.170 m, por lo que se está dentro de lo permitido en dicha reglamentación.

Caída o transferencia: Se obtiene a través de la siguiente expresión:

$$TRANS = L \cdot \left(0,497 \cdot \frac{D_E}{L} - 0,065 \right) = \mathbf{325,13 \text{ m}}$$

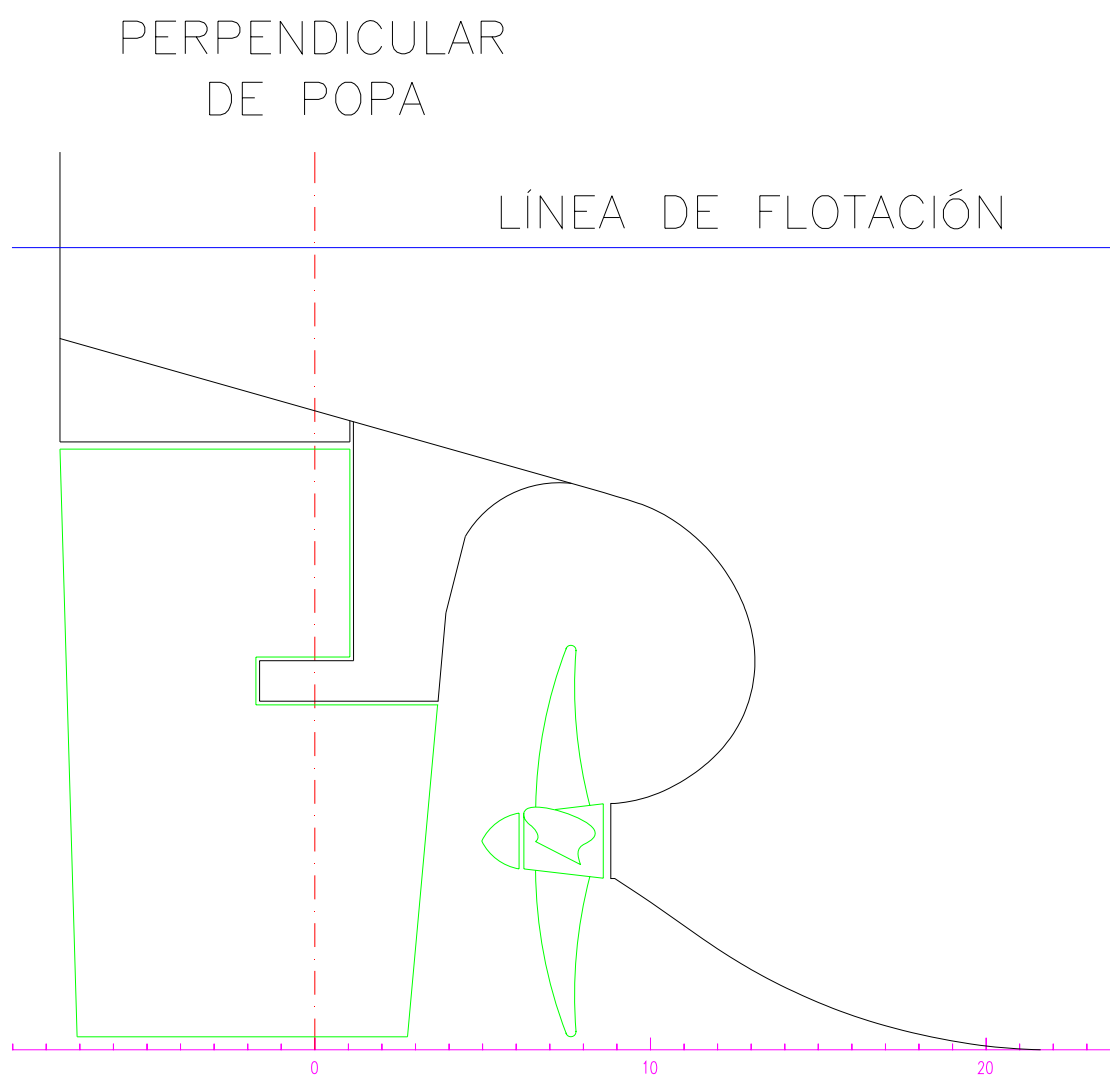
Con todo ello se deduce que el buque proyecto tiene la suficiente capacidad de maniobra y se da por válido el timón definido en puntos anteriores.



7 PERFIL DEL CODASTE, PROPULSOR Y TIMÓN

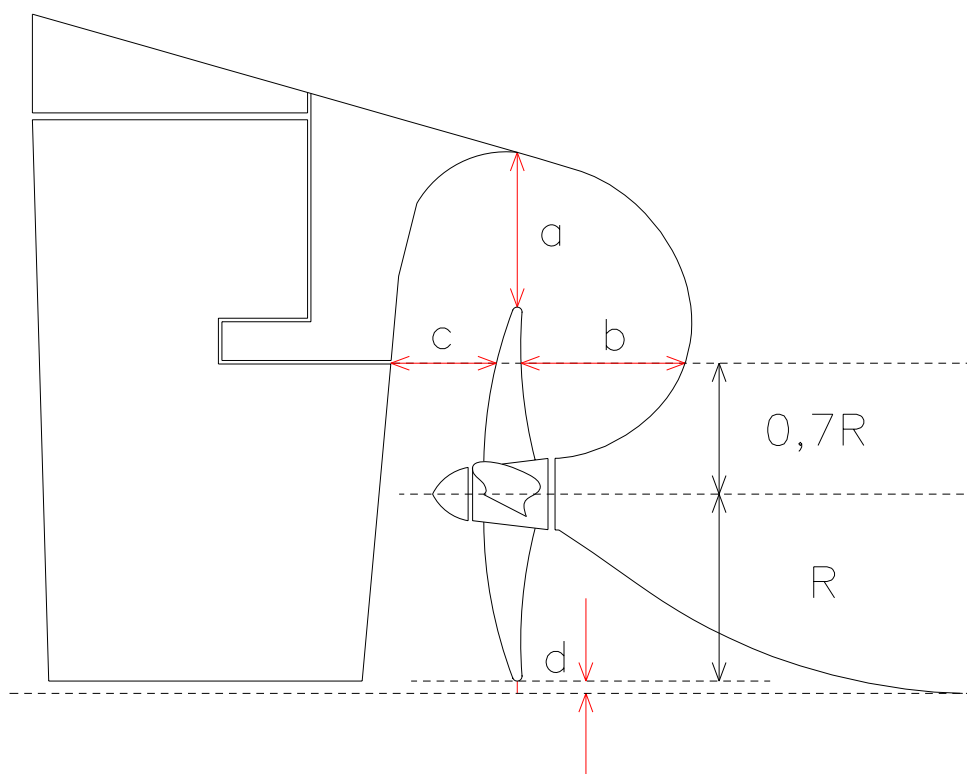
Como resultado de los cálculos anteriormente expuestos, se ha llegado a la definición de una hélice de 5 palas con un diámetro de 8,2 metros y un timón tipo mariner con un área de 78,62 m².

Ambos elementos respectivamente dotan al buque de la velocidad de servicio especificada y de la maniobrabilidad que se requiere para esta clase de buques. La disposición de estos elementos se muestra en el siguiente esquema:



Por último, se va a comprobar que se cumplen los huelgos entre hélice-casco-timón impuestos por la sociedad de clasificación y que se han presentado en el punto 3.2 de este documento.

La siguiente imagen muestra donde se han medido estos huelgos para la disposición concreta del buque proyecto:



Las medidas resultantes de estos huelgos se muestran en la siguiente tabla:

	REQUERIDOS LLOYD'S REGISTER	MEDIDOS
a	1.546 mm	3.392 mm
b	2.319 mm	3.605 mm
c	984 mm	2.320 mm
d	246 mm	271 mm

Por lo que se cumple sin problemas con los requerimientos de la sociedad de clasificación en este sentido.



8 CONCLUSIONES

En el presente documento se han definido los elementos principales de los sistemas de propulsión y maniobra del buque. Con ellos, el buque es capaz de cumplir con las condiciones de servicio requeridas tanto por la especificación como por la reglamentación de la sociedad de clasificación e internacional.

La siguiente etapa en el desarrollo del proyecto debe ser la definición completa de la cámara de máquinas, partiendo de su elemento principal, el motor propulsor. Todo ello se describe detalladamente en el Cuaderno 7 de proyecto.



9 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Durante el desarrollo de todo el proyecto se ha hecho uso de una serie de referencias bibliográficas, las cuales se enumeran a continuación:

- [1] Ricardo Alvariño Castro, Juan José Azpíroz y Manuel Meizoso.; *“El proyecto básico del buque mercante”*, Ed. Fondo Editorial de Ingeniería Naval; Pub. 2007.
- [2] Lamb, Thomas (Written by an international group of authorities); *“Ship design and construction”*, Ed. Society of Naval Architects and Marine Engineers; Pub 2004.
- [3] Holtrop, J. y Mennen G.G.J.; *“An approximate power prediction method”*, International Shipbuilding Progress; Pub 1982.
- [4] Antonio Vaquero; *“Teoría del buque. Lecciones de resistencia al avance”*, Departamento de Artes Gráficas E.T.S.I.N.; Edición 2002.
- [5] Antonio Vaquero; *“Teoría del buque. Introducción a la propulsión de buques”*, Departamento de Artes Gráficas E.T.S.I.N.; Edición 2005.
- [6] Capitán I.G. Reigadas; *“El buque tanque”*, Ediciones EDG; Pub 2004.
- [7] David G. M. Watson; *“Practical Ship Design”*, ELSEVIER OCEAN ENG. BOOK SERIES; Pub 1998.
- [8] Guillermo Ricardo Gadea; *“Los buques tanque y su clasificación”*, PETROTECNIA; Abril 2004
- [9] M.A. Meizoso, J.L. Garcés; *“Apuntes de proyectos”*, Departamento de Artes Gráficas E.T.S.I.N.
- [10] G. Pérez; *“Teoría del buque (Máquinas) Tomo II-B”*, Departamento de Artes Gráficas E.T.S.I.N.
- [11] Antonio Baquero; *“Análisis de comportamiento del buque bajo la acción del timón. Aspectos hidrodinámicos y de proyecto”*, Tesis Doctoral; Canal de experiencias hidrodinámicas, el Pardo; Publicación núm. 66. Madrid, Noviembre de 1981.
- [12] Álvaro Zurita y Sáez de Navarrete; *“Introducción al diseño de cámara de máquinas”*, Sección de Publicaciones E.T.S.I.N.
- [13] K. Van Dokkum; *“Ship knowledge, a modern encyclopedia”*, Editorial Dokmar; Pub 2003
- [14] Luis Ramón Núñez Rivas; Apuntes de clase de la asignatura “Instalaciones de vapor”, Año 2006.



- [15] Alfonso López de Asiaín Zabia; Apuntes de clase de la asignatura “Equipo y servicios”, Año 2004.
- [16] Amable López Piñeiro; *“Electricidad aplicada al buque – Diseño general de la planta eléctrica”*, Departamento de Artes Gráficas E.T.S.I.N; Pub 1999.
- [17] Amable López Piñeiro; *“Distribución eléctrica a bordo”*, Departamento de Artes Gráficas E.T.S.I.N; Pub 1999.
- [18] Manuel Meizoso Fernández y José Luis García Garcés. *“Desplazamiento. Cálculo iterativo del peso en rosca y el peso muerto”*, Departamento de publicaciones de la ETSIN; Pub Junio 2000
- [19] Manuales de FORAN60.
- [20] *“Common Structural Rules for Double Hull Oil Tankers (CSR)”* publicadas por IACS y en vigor desde el 1 de Abril de 2006
- [21] Lloyds Register of Shipping; *“Rules and Regulations for the Classification of Ships”*; Edición de 2007
- [22] Convenio SOLAS, Edición consolidada 2004.
- [23] Convenio MARPOL 73/78/90 y enmiendas.
- [24] Convenio Internacional sobre Líneas de Carga de 66/88 (Edición revisada 2005).
- [25] Convenio Internacional de 23 de Junio de 1969, sobre Arqueo de Buques hecho en Londres. En vigor desde 18 de Julio de 1982.
- [26] Lloyd’s Register of Shipping; *Lloyd’s Register Information*; <http://www.lr.org>
- [27] Base de datos de buques de Lloyd’s Register of Shipping; <http://www.sea-web.com>
- [28] Jaime Torroja Méndez. *“Apuntes de proyectos. Volumen 1”*, Departamento de publicaciones de la ETSIN; Pub 1987.
- [29] *“Standards for Oil Tanker Manifolds and Associated Equipment”*, Oil Companies International Marine Forum (OCIMF). 3rd Edition 1981.
- [30] *“Recommendations for Equipment Employed in the Mooring of Ships at Single Point Moorings”*, Oil Companies International Marine Forum (OCIMF). 2nd Edition, 1988.
- [31] *“Shipping and shipbuilding markets. Annual Review 2009”*; Barry Rogliano Salles. Pub 2009.



ANEXO 1 SALIDA DE FORAN60 DE LOS CÁLCULOS EFECTUADOS

Estimación de la potencia de remolque

```

S I S T E M A   F O R A N
=====

MODULO POWER  VERSION 60

S I S T E M A   F O R A N
-----

PREDICCION DE RESISTENCIA AL AVANCE
METODO : HOLTROP

DATOS GENERALES
=====
DESPLAZAMIENTO                174683.0  TONELADAS
ESLORA ENTRE PERPENDICULARES   260.00  METROS
ESLORA EN FLOTACION            265.32  METROS
MANGA                          47.00  METROS
CALADO MEDIO                   16.80  METROS
CALADO EN PERPENDICULAR DE POPA 16.80  METROS
CALADO EN PERPENDICULAR DE PROA 16.80  METROS
CENTRO DE CARENA LONGITUDINAL  -3.100 (%LPP - S10)
COEFICIENTE DE SECCION MAESTRA  0.9975
COEFICIENTE DE FLOTACION        0.9119
SUPERFICIE MOJADA              18743.20 METROS
SEMIANGULO DE ENTRADA DE LA LINEA DE AGUA 51.00 GRADOS

DATOS OPCIONALES
=====
TIPO DE SECCIONES DE POPA:     SECCIONES NORMALES
BULBO DE PROA
AREA TRANSVERSAL BULBO EN LA SECCION 20 152.79 METROS**2
ALTURA VERTICAL DEL C.O.G.DEL AREA BULBO 8.40 METROS
AREA SUMERGIDA DEL ESPEJO       9.31  METROS**2
AREA EXPUESTA AL VIENTO        305.00 METROS**2
SUPERFICIE MOJADA DE APENDICES:
    
```



- TIMON SUSPENDIDO 105.00 METROS**2

DATOS CALCULADOS

=====

COEFICIENTE DE BLOQUE	0.8128
RUGOSIDAD MEDIA DEL CASCO	150. MICRAS
COEFICIENTE DE FORMA	0.3493
COEFICIENTE DE CORRELACION MODELO-BUQUE	0.2841

PREDICCION DE RESISTENCIA AL AVANCE

METODO : HOLTROP

VELOCIDAD (Nudos)	RESISTENCIA (Knewtons)			POT.REMOLQUE (KWatts)
	VISCOsa	OLAS	APENDICES	
			TOTAL	
0.50	1.9	0.0	0.0	2.2
1.00	7.0	0.0	0.0	8.3
1.50	14.9	0.0	0.1	18.0
2.00	25.5	0.0	0.2	31.4
2.50	38.6	0.0	0.3	48.5
3.00	54.2	0.0	0.4	69.3
3.50	72.3	0.0	0.5	94.0
4.00	92.8	0.0	0.6	122.6
4.50	115.7	0.0	0.8	155.0
5.00	140.9	0.0	1.0	191.2
5.50	168.4	0.0	1.2	231.3
6.00	198.2	0.0	1.4	275.1
6.50	230.3	0.0	1.6	322.7
7.00	264.6	0.0	1.8	373.9
7.50	301.1	0.0	2.1	428.7
8.00	339.9	0.0	2.4	486.9
8.50	380.8	0.0	2.6	548.5
9.00	423.9	0.0	2.9	613.4
9.50	469.2	0.1	3.2	681.5
10.00	516.6	0.3	3.6	752.8
10.50	566.1	0.5	3.9	827.1
11.00	617.8	1.0	4.3	904.6



11.50	671.6	1.9	4.6	985.1	5827.9
12.00	727.5	3.3	5.0	1068.9	6598.3
12.50	785.4	5.5	5.4	1156.0	7433.7
13.00	845.5	8.9	5.9	1246.8	8338.5
13.50	907.6	14.0	6.3	1341.7	9318.0
14.00	971.9	21.2	6.7	1441.6	10382.6
14.50	1038.1	31.3	7.2	1548.1	11547.5
15.00	1106.4	45.0	7.7	1660.6	12814.5
15.20	1134.3	51.7	7.8	1707.6	13352.5
15.50	1176.8	63.4	8.1	1780.3	14195.5
16.00	1249.2	87.4	8.6	1907.9	15704.3
16.50	1323.6	118.3	9.2	2044.8	17357.1
17.00	1400.0	157.5	9.7	2192.3	19172.6
17.50	1478.5	206.4	10.2	2351.7	21172.0
18.00	1559.0	266.6	10.8	2524.8	23379.2

P R O C E S O C O M P L E T A D O

FORMAS DEFINIDAS CON EL MODULO FORMT



Calculo del propulsor óptimo; Hélice de 4 palas

S I S T E M A F O R A N

=====

MODULO POWER VERSION 60

S I S T E M A F O R A N

=====

PREDICCION POTENCIA-VELOCIDAD

METODO : SERIES - B WAGENINGEN

DATOS PARA PREDICCION DE VELOCIDAD

POTENCIA NOMINAL	POT = 21748.15 KW
REVOLUCIONES DEL PROPULSOR	RPM = 93.625 RPM
VELOCIDAD DEL BUQUE	V = 15.20 NUDOS
REGIMEN DE POTENCIA EN CONDICIONES DE SERVICIO	FSERV = 90.000
MARGEN DE POTENCIA POR CONDICIONES DE MAR Y CASCO	FMAR = 15.000
NUMERO DE PROPULSORES	NPROP = 1
NUMERO DE PALAS DEL PROPULSOR	NPB = 4
ALTURA MINIMA DE LINEA DE EJES	HO = 4.371 M
RENDIMIENTO MECANICO DE LINEA DE EJES	ETAM = 0.9800

CARACTERISTICAS DEL PROPULSOR

DIAMETRO DEL PROPULSOR	DP = 8.200 M
RELACION AREA/DISCO	AEA0 = 0.645
RELACION PASO/DIAMETRO	PD = 0.664
DEDUCCION DE EMPUJE	THDF = 0.2175
RENDIMIENTO EN AGUAS LIBRES	ETA0 = 0.2817
RENDIMIENTO ROTATIVO RELATIVO	ETAR = 1.0198

PREDICCION POTENCIA-VELOCIDAD

METODO : SERIES - B WAGENINGEN

PREDICCION POTENCIA-VELOCIDAD

CONDICION	PREDICCION DE VELOCIDAD	FACTORES PROPULSIVOS
-----------	-------------------------	----------------------

Página 1



	REG	RPM	VELOC	BKW	EFFH	EFFO	EFFP
	87.5	81.9	13.33	13127.4	2.4698	0.2805	0.6978
	90.0	84.3	13.72	14277.6	2.4659	0.2810	0.6982
*****	92.5	86.6	14.09	15497.0	2.4624	0.2813	0.6979
SERVICIO	95.0	88.9	14.47	16784.0	2.4789	0.2816	0.6976
*****	97.5	91.3	14.84	18140.2	2.4756	0.2818	0.6972
	100.0	93.6	15.20	19573.3	2.4726	0.2817	0.6961
	102.5	96.0	15.56	21077.9	2.4696	0.2817	0.6954
	87.5	81.9	14.16	12922.7	2.4617	0.2978	0.7385
	90.0	84.3	14.56	14058.7	2.4781	0.2980	0.7381
*****	92.5	86.6	14.95	15261.3	2.4747	0.2982	0.7374
PRUEBAS	95.0	88.9	15.33	16534.1	2.4715	0.2981	0.7362
*****	97.5	91.3	15.70	17877.7	2.4684	0.2978	0.7348
	100.0	93.6	16.08	19291.0	2.4655	0.2977	0.7335
	102.5	96.0	16.44	20782.1	2.4627	0.2973	0.7317

NOMENCLATURA

REG	: REGIMEN DE GIRO DEL MOTOR	(%RPM)
RPM	: REVOLUCIONES DEL PROPULSOR	(RPM)
VELOC	: VELOCIDAD DEL BUQUE	(NUDOS)
BKW	: POTENCIA AL FRENO	(KWATS)
EFFH	: RENDIMIENTO DEL CASCO	
EFFO	: RENDIMIENTO DEL PROPULSOR	
EFFP	: RENDIMIENTO PROPULSIVO TOTAL	

P R O C E S O C O M P L E T A D O



Calculo del propulsor óptimo; Hélice de 5 palas

S I S T E M A F O R A N

=====

MODULO POWER VERSION 60

S I S T E M A F O R A N

=====

PREDICCION POTENCIA-VELOCIDAD

METODO : SERIES - B WAGENINGEN

DATOS PARA PREDICCION DE VELOCIDAD

POTENCIA NOMINAL	POT = 21428.01 KW
REVOLUCIONES DEL PROPULSOR	RPM = 89.296 RPM
VELOCIDAD DEL BUQUE	V = 15.20 NUDOS
REGIMEN DE POTENCIA EN CONDICIONES DE SERVICIO	FSERV = 90.000
MARGEN DE POTENCIA POR CONDICIONES DE MAR Y CASCO	FMAR = 15.000
NUMERO DE PROPULSORES	NPROP = 1
NUMERO DE PALAS DEL PROPULSOR	NPB = 5
ALTURA MINIMA DE LINEA DE EJES	HO = 4.371 M
RENDIMIENTO MECANICO DE LINEA DE EJES	ETAM = 0.9800

CARACTERISTICAS DEL PROPULSOR

DIAMETRO DEL PROPULSOR	DP = 8.200 M
RELACION AREA/DISCO	AEA0 = 0.675
RELACION PASO/DIAMETRO	PD = 0.691
DEDUCCION DE EMPUJE	THDF = 0.2175
RENDIMIENTO EN AGUAS LIBRES	ETA0 = 0.2854
RENDIMIENTO ROTATIVO RELATIVO	ETAR = 1.0130

PREDICCION POTENCIA-VELOCIDAD

METODO : SERIES - B WAGENINGEN

PREDICCION POTENCIA-VELOCIDAD

CONDICION	PREDICCION DE VELOCIDAD	FACTORES PROPULSIVOS
-----------	-------------------------	----------------------

Página 1



	REG	RPM	VELOC	BKW	EFFH	EFFO	EFFP
	87.5	78.1	13.33	12933.4	2.4893	0.2851	0.7082
	90.0	80.4	13.77	14066.9	2.4859	0.2857	0.7086
*****	92.5	82.6	14.09	15268.6	2.4824	0.2860	0.7082
SERVICIO	95.0	84.8	14.47	16536.7	2.4789	0.2862	0.7079
*****	97.5	87.1	14.84	17875.7	2.4757	0.2864	0.7077
	100.0	89.3	15.20	19285.2	2.4725	0.2864	0.7065
	102.5	91.5	15.55	20770.1	2.4695	0.2863	0.7053
	87.5	78.1	14.16	12742.0	2.4817	0.3026	0.7491
	90.0	80.4	14.56	13862.1	2.4781	0.3028	0.7487
*****	92.5	82.6	14.95	15048.1	2.4747	0.3030	0.7480
PRUEBAS	95.0	84.8	15.33	16303.1	2.4715	0.3029	0.7467
*****	97.5	87.1	15.70	17627.7	2.4684	0.3026	0.7453
	100.0	89.3	16.08	19021.1	2.4655	0.3025	0.7440
	102.5	91.5	16.44	20491.0	2.4627	0.3021	0.7422

NOMENCLATURA

REG	: REGIMEN DE GIRO DEL MOTOR	(%RPM)
RPM	: REVOLUCIONES DEL PROPULSOR	(RPM)
VELOC	: VELOCIDAD DEL BUQUE	(NUDOS)
BKW	: POTENCIA AL FRENO	(KWATS)
EFFH	: RENDIMIENTO DEL CASCO	
EFFO	: RENDIMIENTO DEL PROPULSOR	
EFFP	: RENDIMIENTO PROPULSIVO TOTAL	

PROCESO COMPLETADO

PROYECTO 1.731
PETROLERO PARA CRUDO 150.000 TPM

CUADERNO 6

RESISTENCIA ESTRUCTURAL



Tutor: D. Francisco Alonso Thous

Realizado por: José Antonio Durango Ramón



CONTENIDOS

1	INTRODUCCIÓN	2
2	NOMENCLATURA	3
3	CRITERIOS DE CÁLCULO. JUSTIFICACIÓN MATERIALES	4
3.1	Reglamentación aplicable.....	4
3.2	Materiales a emplear	5
3.3	Proceso a seguir para definir la estructura del buque	5
3.4	Parámetros de escantillonado	6
4	ACERO LONGITUDINAL	7
4.1	Planchas del forro exterior del casco.....	10
4.1.1	Planchas de fondo	10
4.1.2	Plancha de pantoque	11
4.1.3	Planchas de costado.....	12
4.1.4	Planchas de cubierta.....	13
4.1.5	Refuerzos de las planchas del forro exterior.....	14
4.2	Planchas de doble fondo, de doble casco y mamparo longitudinal	14
4.2.1	Planchas del doble fondo.....	14
4.2.2	Planchas del doble casco	15
4.2.3	Plancha zona de transición entre doble casco y doble fondo	15
4.2.4	Mamparo longitudinal.....	15
4.2.5	Refuerzos de las planchas de doble fondo, doble casco y mamparo longitudinal.....	16
4.3	Quilla vertical, vagras y palmejares	17
4.3.1	Quilla vertical.....	17
4.3.2	Vagras.....	17
4.3.3	Palmejares	17
4.3.4	Refuerzos de la quilla vertical, vagras y palmejares	18
4.4	Quillas de balance	18
4.5	Disposición y características de los elementos longitudinales	19
4.6	Requerimientos mínimos de las CSR	23
4.7	Estudio de pandeo de los elementos longitudinales.....	28
4.7.1	Planchas	28
4.7.2	Refuerzos.....	31
5	ACERO TRANSVERSAL	34
5.1	Transversales de fondo	34
5.2	Transversales de costado y de mamparo longitudinal	34
5.3	Transversales de cubierta	34
5.4	Refuerzos transversales de pantoque	35
6	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	36



1 INTRODUCCIÓN

Un buque en el mar está constantemente sometido a una serie de esfuerzos debido principalmente a la distribución de pesos y empujes. Desde el punto de vista estructural el buque se considera como una viga flotante cuya composición de esfuerzos y resistencia propia han de estar en constante equilibrio en todas las condiciones de operación.

Los principales esfuerzos a considerar en el cálculo son los esfuerzos cortantes en sentido longitudinal debidos, a la distribución de pesos y empujes, y el momento flector provocado por estos esfuerzos cortantes.

La importancia de los esfuerzos transversales es relativa con respecto a los longitudinales, aunque hay que tenerlos en cuenta y básicamente son los mismos que en la resistencia longitudinal.

A efectos de resistencia, el casco dispondrá de elementos básicos que soportan tanto los esfuerzos longitudinales como transversales; así sucede con las planchas del forro exterior y cubiertas, localizando elementos en un sentido y otro, según las necesidades estructurales o de soporte de las planchas.

Todo el cálculo de los distintos elementos está basado en los requerimientos de la sociedad de clasificación que en este caso son las Common Structural Rules for Oil Tankers.

Para los cálculos geométricos de la cuaderna maestra se va a utilizar el programa Mars2000, el cual ha sido obtenido en la web de la sociedad de clasificación "BUREAU VERITAS".



2 NOMENCLATURA

Variable	Descripción (unidades)
L_R	Eslora reglamentaria (m)
B	Manga de trazado (m)
D	Puntal de trazado (m)
T_{Verano}	Calado de verano (m)
$T_{Escantillonado}$	Calado de escantillonado (m)
Δ	Desplazamiento (t)
Cb	Coeficiente de bloque
I	Momento de inercia (m ⁴)
Z	Módulo resistente (m ³)
M	Momento flector (kN m)
Q	Esfuerzo cortante (kN)
b	Manga o anchura de un elemento (mm)
t	Espesor (mm)
P	Presión (kPa)
σ	Tensión normal (N/mm ²)
τ	Tensión tangencial (N/mm ²)

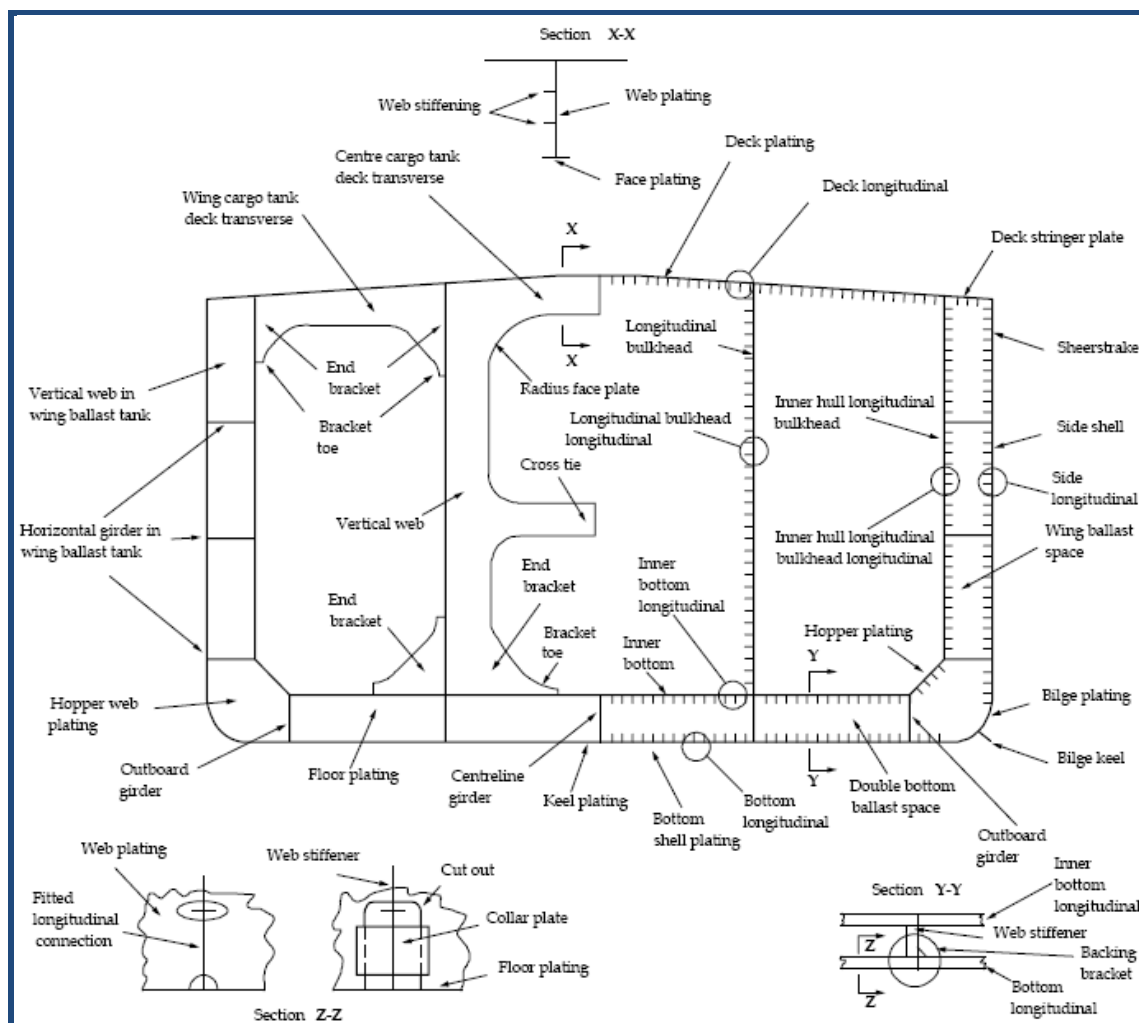


3 CRITERIOS DE CÁLCULO. JUSTIFICACIÓN MATERIALES

3.1 Reglamentación aplicable

Por requerimientos de la especificación de proyecto, el buque ha de cumplir con las Common Structural Rules (IACS), las cuales hacen referencia principalmente a la estructura del buque.

El reglamento se divide en 12 Secciones y 4 anexos siendo los más importantes para este cuaderno las secciones de la 6 a 11. La nomenclatura que emplea el reglamento para referirse a los distintos elementos de la estructura se muestra en la siguiente imagen:





3.2 Materiales a emplear

Para la realización de los cálculos estructurales se van a emplear los parámetros del acero dulce naval, descartando el acero de alta resistencia, el cual debería emplearse en caso de que el peso en rosca fuese demasiado alto como consecuencia de un excesivo peso del acero del buque.

El uso de acero dulce naval trae además una serie de ventajas que se enumeran a continuación:

- Mejor comportamiento ante el pandeo que el acero de alta resistencia, puesto que los espesores de chapas y perfiles son mayores que los necesarios para acero de alta resistencia.
- Mejor comportamiento ante la fatiga ya que las tensiones que soporta son menores que las del acero de alta resistencia.
- Facilidad de acopio de material en reparaciones ya que es más económico, dado que la corrosión tanto en acero dulce como en acero de alta resistencia es la misma.
- Facilidad de soldadura.

Por todo ello, se utilizará acero dulce naval para la estructura del buque, con un límite elástico de 235 N/mm^2 y un módulo de Young de 206.000 N/mm^2 .

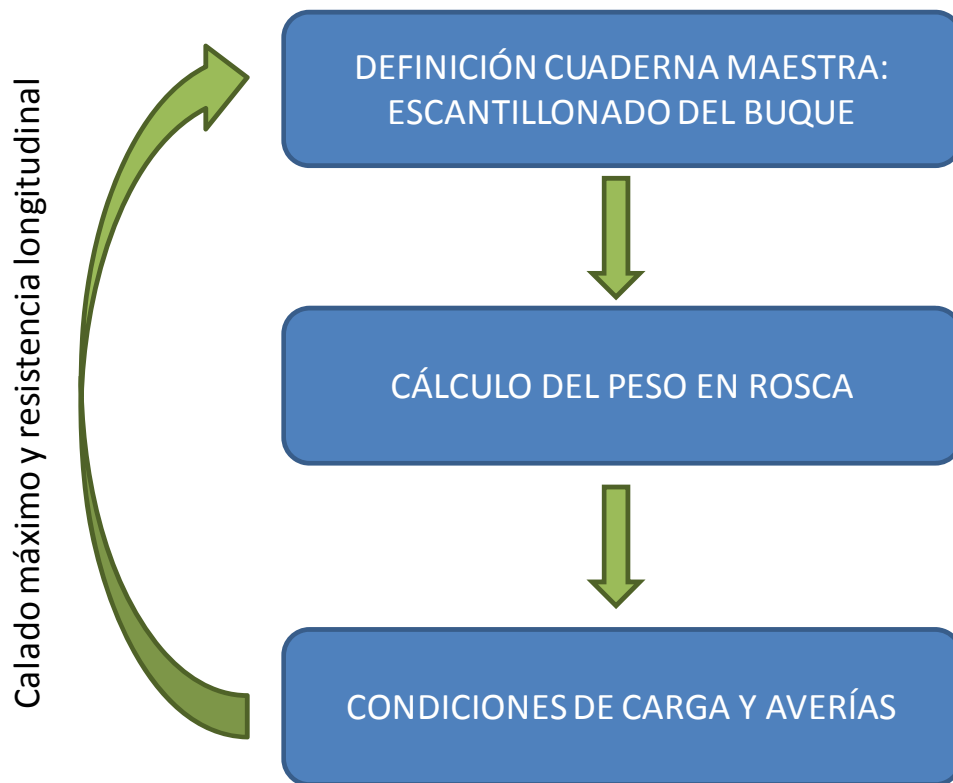
3.3 Proceso a seguir para definir la estructura del buque

Para la definición de la estructura del buque hay que seguir un proceso iterativo en el que intervienen los cálculos del peso en rosca y de las condiciones de carga.

El procedimiento a seguir es el siguiente:

1. Se define la cuaderna maestra según las normas de las CSR que hacen la función de sociedad de clasificación.
2. Se obtiene el peso del acero del buque a través del método de D.S. Aldwinckle.
3. Con el peso en rosca total se calculan las condiciones de carga y las situaciones de avería.
4. Con los parámetros obtenidos en las condiciones de carga (principalmente el calado máximo) se vuelve a recalcular la estructura y se comprueban los valores de resistencia longitudinal.
5. Se obtiene el nuevo peso en rosca y se vuelven a calcular las condiciones de carga.

El proceso es una espiral y se va repitiendo hasta que todos los valores convergen. En la siguiente imagen se muestra esta metodología:



3.4 Parámetros de escantillonado

El reglamento para la realización de los distintos cálculos establece una serie de parámetros del buque a considerar (Sección 4, capítulo 1):

- Eslora reglamentaria “ L_R ” es la distancia en la flotación de verano desde la parte trasera del timón hasta la cara de proa de la roda. No debe ser mayor del 97% de la eslora total del buque a ese calado (265,314 m) ni menor del 96%. Teniendo en cuenta que:

$$L_{R \min} = L_F \cdot 0,96 = 265,314 \cdot 0,96 = 254,701 \text{ m}$$
$$L_{R \min} = L_F \cdot 0,97 = 265,314 \cdot 0,97 = 257,355 \text{ m}$$

Se tomará un valor medio para este parámetro de 256,028 m.

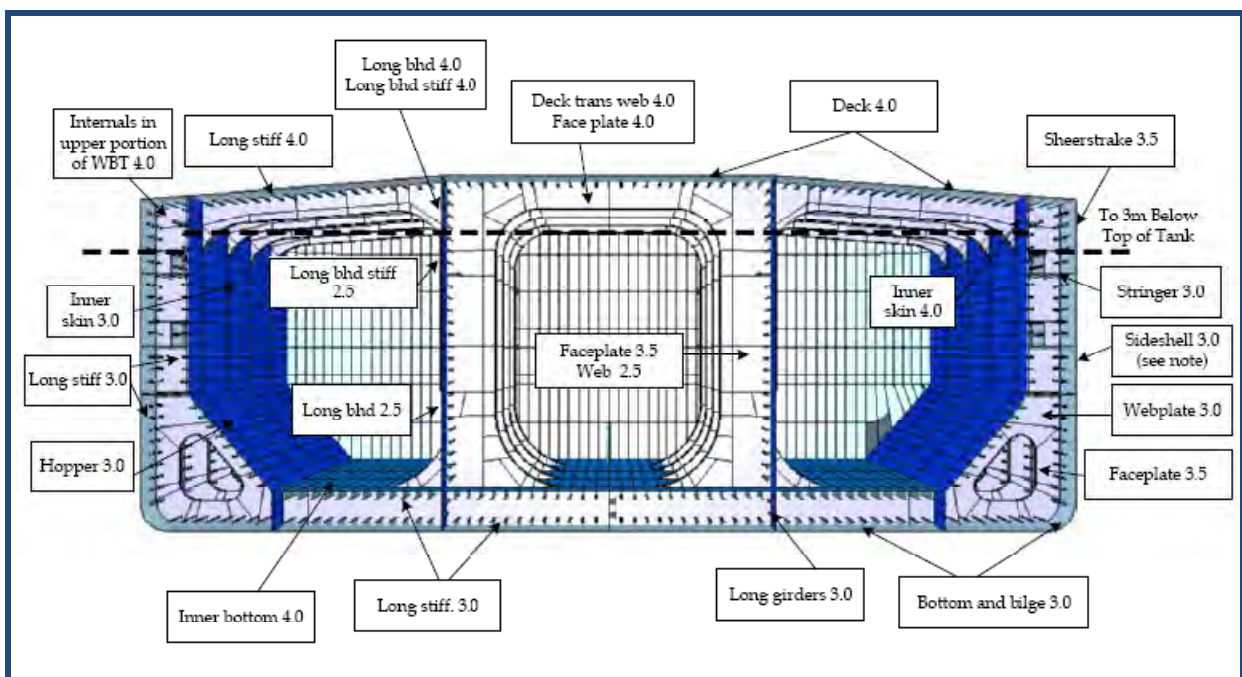
- Manga de trazado “B” igual a 47,000 m.
- Puntal de trazado “D” igual a 24,400 m.
- Calado de verano en la condición de operación a plena carga “ T_{Verano} ” es igual a 17,130 m como máximo.
- Calado de escantillonado “ T_{esc} ” se toma igual al calado máximo de operación incrementado en 0,6 metros (que es un valor normal en este tamaño y tipo de buques), por lo que el calado de escantillonado se toma igual a 17,800 m.
- Desplazamiento “ Δ ”, se toma al calado de escantillonado y es igual a 185.004 t.
- Coeficiente de bloque “Cb”, se toma al calado de escantillonado y es igual a 0,8365.



4 ACERO LONGITUDINAL

Se empezará a definir la estructura longitudinal del buque definiendo las dimensiones de cada una de las planchas que componen la estructura longitudinal y los refuerzos en cada una de ellas, siempre tomando como referencia los requerimientos mínimos del reglamento.

A los espesores mínimos obtenidos por la aplicación de las expresiones indicadas por el reglamento, hay que añadirles unos ciertos márgenes que tienen en cuenta el efecto de la corrosión durante la vida útil del buque. Estos márgenes se indican en la siguiente imagen (en milímetros):



En todas las planchas se va a tomar un margen con respecto al espesor mínimo obtenido por aplicación de los reglamentos.

El espaciado de los refuerzos longitudinales "s" se va a tomar en función de la zona en la que éstos se encuentren, todos ellos basados en el reglamento de la sociedad de clasificación (Parte 4-Ch 9-4.2.1) que no debe ser menor de:

$$s = 470 + \frac{L_R}{0,6} = 470 + \frac{256,028}{0,6} = 896,71 \text{ mm}$$

O bien 700 mm si es menor. Teniendo en cuenta la configuración de la cuaderna maestra se toma un espaciado de refuerzos longitudinales de entre 800 y 860 mm como se verá más adelante.

Para el dimensionado de los refuerzos longitudinales en todas las zonas se siguen las indicaciones de la Regla 2.3.2 / Sección 8 (Tabla 8.2.5) donde se establece el módulo



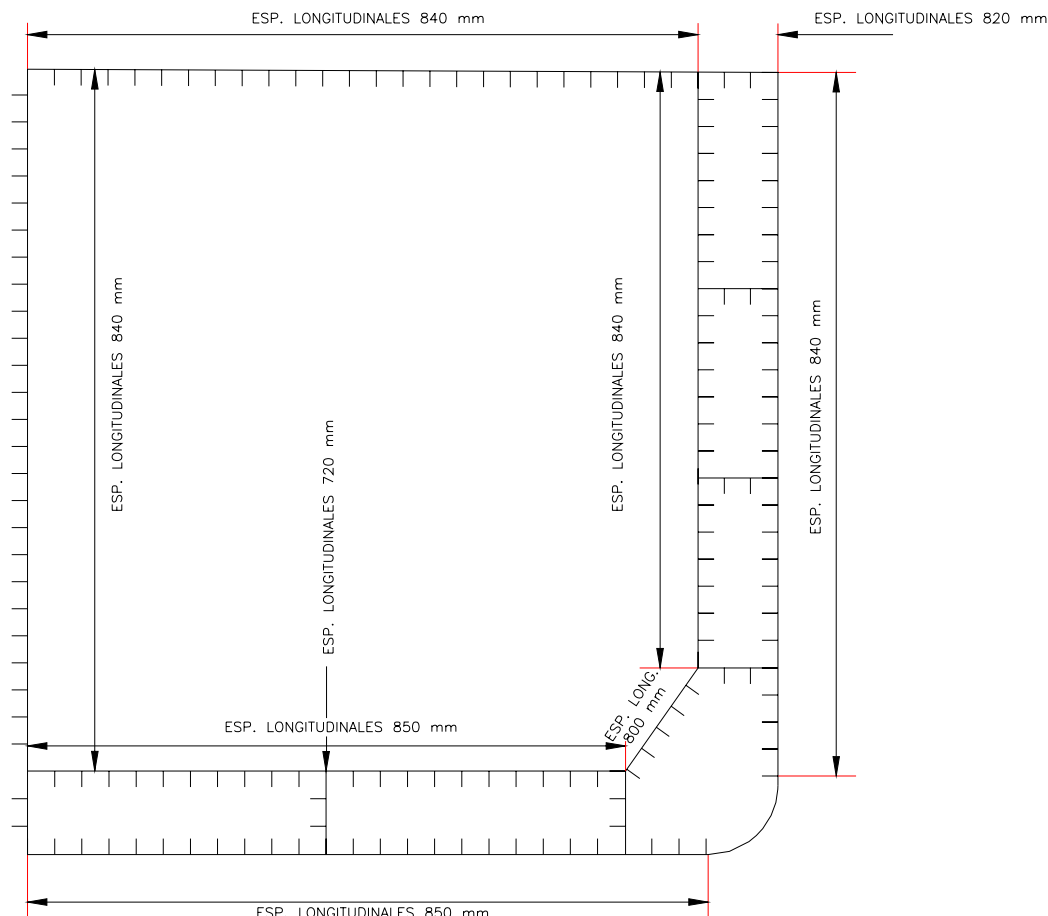
“Z” mínimo de cada refuerzo en función de la zona en la que se encuentre a través de la siguiente expresión:

$$Z_{\text{Refuerzos}} = \frac{|P| \cdot s \cdot l_{\text{bdg}}^2}{f_{\text{bdg}} \cdot C_s \cdot \sigma_{\text{yd}}}$$

Donde:

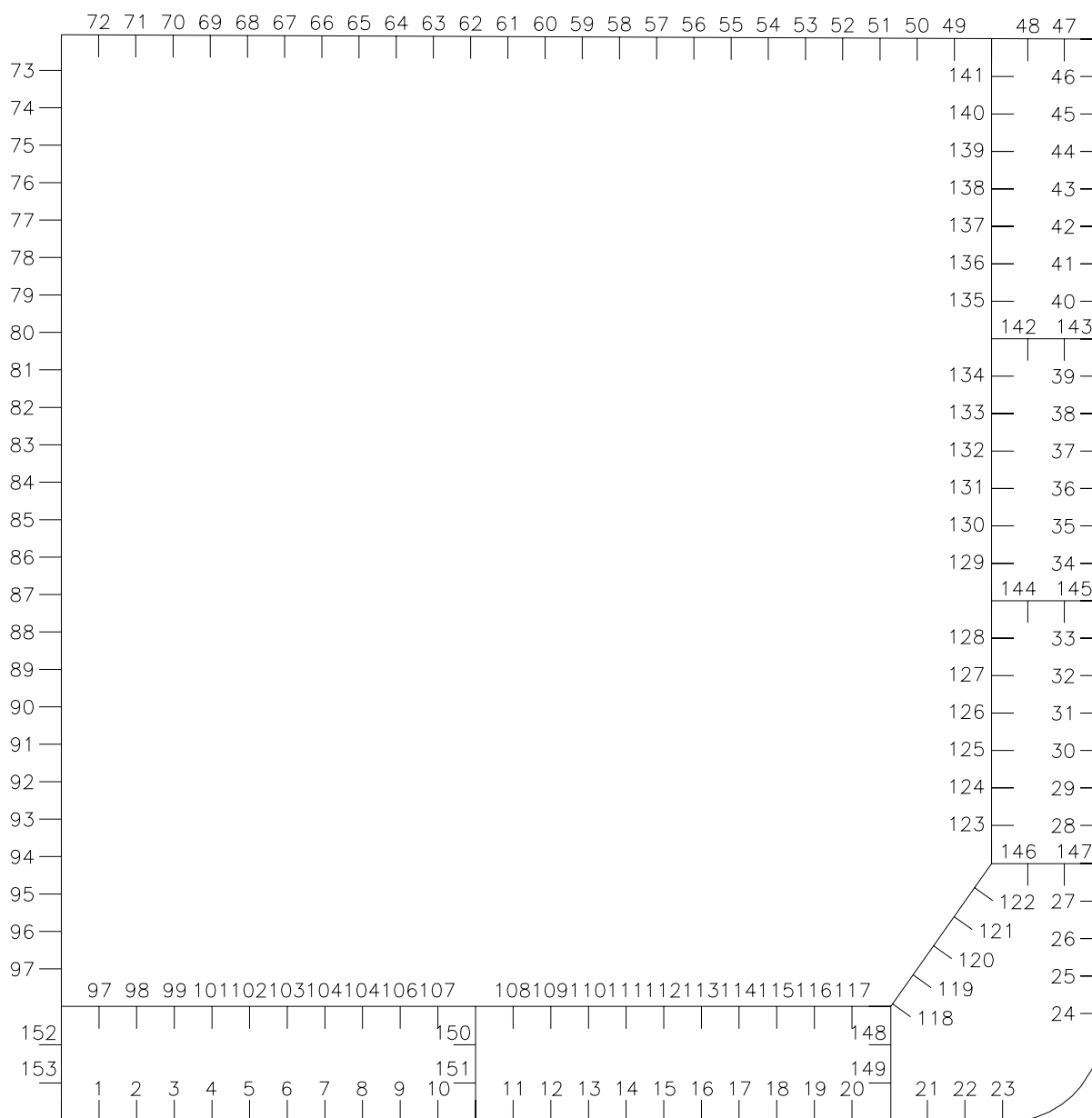
- “P” es la presión de diseño de la plancha en la que se encuentra el refuerzo.
- “s” Separación de refuerzos.
- “ l_{bdg} ” clara efectiva de refuerzos en sentido longitudinal, se toma igual a 4,12 m en todas las zonas.
- “ f_{bdg} ” factor de momento flector se toma igual a 12 para refuerzos dispuestos horizontalmente y 10 para los dispuestos verticalmente.
- “ C_s ” Se denomina coeficiente de flexión y se toma igual 0,60.
- “ σ_{yd} ” En la Sección 3 / 1.1.2 se indica que para un acero normal debe tomarse 235 N/mm².

La distribución de los elementos longitudinales de la cuaderna maestra se muestra en la siguiente imagen, donde como puede verse se han dispuesto en el doble fondo dos vagras y una quilla vertical; En el espacio del doble casco se disponen tres palmejares. Además se ha optado por no reforzar el pantoque con elementos longitudinales (lo que se tendrá en cuenta más adelante para definir el espesor de las planchas).





La nomenclatura que se va a emplear para cada uno de los refuerzos longitudinales se presenta en la siguiente imagen:



En los siguientes puntos se van a definir los distintos elementos que componen la estructura longitudinal del buque:



4.1 Planchas del forro exterior del casco

Para abordar el estudio de las planchas del forro exterior del casco, se dividirán éstas en los siguientes grupos:

- Planchas de cubierta
- Planchas de costado
- Plancha de pantoque
- Planchas de fondo

A continuación se expone el dimensionamiento de las planchas de cada uno de estos grupos:

4.1.1 Planchas de fondo

En este apartado se consideran dos tipos de planchas la plancha de la quilla y el resto de planchas del fondo:

Plancha de la quilla (Sección 8 / 2.2.1)

Esta plancha se dispone con su centro en el plano de crujía y debe extenderse a lo largo de toda la eslora del buque con una manga no menor de:

$$b_{P,quilla} = 800 + 5 \cdot L_R = 800 + 5 \cdot 256,028 = 2.080,14 \text{ mm}$$

El espesor mínimo se obtiene a través de la siguiente expresión:

$$t_{P, \text{ costado bajo}} = 0,0158 \cdot \alpha_p \cdot s \cdot \sqrt{\frac{|P|}{C_a \cdot \sigma_{yd}}}$$

“ α_p ” es un factor de corrección que es igual a:

$$\alpha_p = 1,2 - \frac{s}{2.100 \cdot l_p} = 1,2 - \frac{850}{2.100 \cdot 4,12} = 1,102$$

“|P|” Se toma la presión de diseño de la plancha, que es igual a 345,35 kPa.

“ C_a ” coeficiente de resistencia en la condición de plena carga, se toma igual a 0,8

“ σ_{yd} ” En la Sección 3 / 1.1.2 se indica que para un acero normal debe tomarse 235 N/mm²

El espesor requerido para la plancha de la quilla es:

$$t_{P,quilla} = 0,0158 \cdot 1,102 \cdot 850 \cdot \sqrt{\frac{345,35}{0,8 \cdot 235}} = 20,06 \text{ mm}$$

Teniendo en cuenta el margen por corrosión, el espesor final requerido es:

$$t_{P,quilla} = 20,06 + 3,00 = 23,06 \text{ mm}$$



Planchas del fondo (Sección 8 / 2.2.2)

El espesor de estas planchas se toma igual al de la plancha de la quilla puesto que los criterios de diseño son los mismos:

$$t_{p.fondo} = t_{p.quilla} = 23,06 \text{ mm}$$

4.1.2 Plancha de pantoque

El espesor de la plancha de pantoque no debe ser inferior al de sus planchas adyacentes del fondo y del costado, si esta plancha no lleva refuerzos (como es el caso) su espesor mínimo será:

$$t_{p.pantoque} = \frac{\sqrt[3]{r^2 \cdot S_t \cdot P_{ex}}}{100}$$

Donde:

“ S_t ” Clara de cuadernas en la zona de carga, es igual a 4,12 m.

“ P_{ex} ” Presión del agua del mar en el punto más bajo del pantoque para el calado de escantillonado que es igual a 277,8 kPa.

“ r ” radio efectivo del pantoque se calcula a través de:

$$r = r_0 + 0,5 \cdot (a + b) = 2.185,05 + 0,5 \cdot (64,90 + 295,70) = 2.365,35 \text{ mm}$$

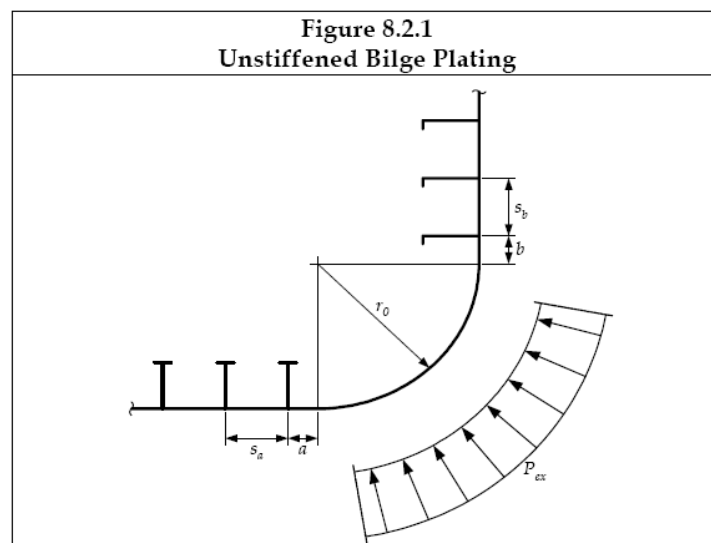
El espesor mínimo de las planchas de pantoque es:

$$t_{p.pantoque} = \frac{\sqrt[3]{2.365,35^2 \cdot 4,12 \cdot 277,8}}{100} = 18,56 \text{ mm}$$

Teniendo en cuenta el margen por corrosión, el espesor final requerido es:

$$t_{p.pantoque} = 18,56 + 3,00 = 21,56 \text{ mm}$$

Los distintos parámetros utilizados se presentan en la siguiente figura:





Un resumen con los espesores requeridos y los adoptados en las planchas de esta zona es:

Planchas	Espesor requerido (mm)	Espesor adoptado (mm)
Plancha de quilla	23,06	26,00
Planchas de fondo	23,06	26,00
Plancha de pantoque	21,56	26,00

4.1.3 Planchas de costado

Para establecer el espesor de las planchas de costado (Sección 8 / 2.2.4) se divide éste en tres zonas:

Parte baja (Sección 8 / 2.2.4.1):

Esta zona va desde el final del pantoque hasta una altura de 300 mm por debajo de la mínima flotación de operación del buque que es igual a 8,300 m (Situación de carga de lastre llegada) por lo que el límite superior de esta zona es 8.000 mm. El espesor mínimo se obtiene a través de la siguiente expresión:

$$t_{P. \text{ costado bajo}} = 0,0158 \cdot \alpha_p \cdot s \cdot \sqrt{\frac{|P|}{C_a \cdot \sigma_{yd}}}$$

$$\alpha_p = 1,2 - \frac{s}{2.100 \cdot l_p} = 1,2 - \frac{840}{2.100 \cdot 4,12} = 1,103$$

"|P|" Se toma la presión del agua de mar en el punto más bajo en el que va a estar esta zona que es 15,553 por lo que la presión es igual a 256,23 kPa.

"C_a" coeficiente de resistencia en la condición de plena carga, se toma igual a 0,8

"σ_{yd}" En la Sección 3 / 1.1.2 se indica que para un acero normal debe tomarse 235 N/mm²

El espesor requerido para las planchas exteriores del costado bajo es:

$$t_{P. \text{ costado bajo}} = 0,0158 \cdot 1,103 \cdot 840 \cdot \sqrt{\frac{256,23}{0,8 \cdot 235}} = 17,09 \text{ mm}$$

Teniendo en cuenta el margen por corrosión, el espesor final requerido es:

$$t_{P. \text{ costado bajo}} = 17,09 + 3,00 = 20,09 \text{ mm}$$

Parte media (Sección 8 / 2.2.4.2):

Zona que va desde una altura sobre la línea de base de 8.000 mm hasta una flotación tal que su francobordo sea igual a 0,25 T_{esc} = 4.425 mm por lo que el límite superior es 18.942 mm, el espesor mínimo que impone el reglamento es:



$$t_{P. \text{ costado medio}} = 26 \cdot \left(\frac{s}{1.000} + 0,7 \right) \cdot \left(\frac{B \cdot T_{esc}}{\sigma_{yd}^2} \right)^{0,25}$$

Donde:

“s” es la separación entre refuerzos longitudinales en las planchas 840 mm.

“ σ_{yd} ” En la Sección 3 / 1.1.2 se indica que para un acero normal debe tomarse 235 N/mm², por lo que el espesor mínimo requerido es:

$$t_{P. \text{ costado medio}} = 26 \cdot \left(\frac{840}{1.000} + 0,7 \right) \cdot \left(\frac{47,00 \cdot 17,80}{235^2} \right)^{0,25} = 14,03 \text{ mm}$$

Teniendo en cuenta el margen por corrosión, el espesor final requerido es:

$$t_{P. \text{ costado medio}} = 14,03 + 3,00 = 17,03 \text{ mm}$$

Parte alta (Sección 8 / 2.2.5):

La zona va desde una altura sobre la línea de base de 18.942 mm hasta el canto alto de la intersección del canto alto de la cubierta principal con el costado, el espesor de estas planchas han de cumplir el mismo criterio que las de la parte baja pero tomando la presión igual a 100 kPa puesto que estas planchas no están sumergidas en ninguna condición de carga:

$$t_{P. \text{ costado alto}} = 0,0158 \cdot 1,103 \cdot 840 \cdot \sqrt{\frac{100,00}{0,8 \cdot 235}} = 10,68 \text{ mm}$$

Teniendo en cuenta el margen por corrosión, el espesor final requerido es:

$$t_{P. \text{ costado alto}} = 10,68 + 3,00 = 13,68 \text{ mm}$$

Un resumen con los espesores requeridos y los adoptados en las planchas de esta zona es:

Planchas	Espesor requerido (mm)	Espesor adoptado (mm)
P. costado bajo	20,09	25,00
P. costado medio	17,03	21,00
P. costado alto	13,68	18,00

4.1.4 Planchas de cubierta

Según el apartado 2.2.6 de la Sección 8 del reglamento el espesor mínimo de estas planchas ha de cumplir:

$$t_{P. \text{ cubierta}} = 0,0158 \cdot \alpha_p \cdot s \cdot \sqrt{\frac{|P|}{C_a \cdot \sigma_{yd}}}$$



$$\alpha_p = 1,2 - \frac{s}{2.100 \cdot l_p} = 1,2 - \frac{840}{2.100 \cdot 4,12} = 1,103$$

Donde “C_a” y “σ_{yd}” ya se han definido anteriormente, la presión de diseño de estas planchas se toma igual a 350 kPa puesto que deben soportar el peso de los equipos dispuestos sobre la cubierta principal. Por lo tanto:

$$t_{p.cubierta} = 0,0158 \cdot 1,103 \cdot 840 \cdot \sqrt{\frac{350,00}{0,8 \cdot 235}} = 19,97 \text{ mm}$$

Teniendo en cuenta el margen por corrosión, el espesor final requerido es:

$$t_{p.cubierta} = 19,97 + 4,00 = 23,97 \text{ mm}$$

Se adopta un espesor para estas planchas de **28 mm**.

4.1.5 Refuerzos de las planchas del forro exterior

Los cálculos de los refuerzos en las distintas planchas del forro exterior se resumen en la siguiente tabla (“A” es el ala del refuerzo y “a” el alma):

Refuerzos	P (kPa)	s (mm)	Z _{Requerido} (cm ³)	Refuerzo adoptado	tipo	Z _{Real} (cm ³)
1 a 23 (fondo)	345,35	850	3.534	A: 600 x 20 a: 300 x 20	T	4.691
24 a 32 (costado bajo)	256,23	840	2.159	A: 550 x 19 a: 170 x 19	T	2.874
33 a 41 (costado medio)	135,09	840	1.138	A: 450 x 18 a: 175 x 18	T	2.037
42 a 46 (costado alto)	100,00	840	843	A: 450 x 16 a: 130 x 16	T	1.395
47 a 72 (cubierta)	100,00	840	1.011	A: 450 x 16 a: 150 x 16	T	1.517

4.2 Planchas de doble fondo, de doble casco y mamparo longitudinal

4.2.1 Planchas del doble fondo

La presión máxima a la que van a estar sometidas estas planchas es la del agua de mar de los tanques de lastre cuando éstos se encuentran llenos a su máxima capacidad, los tanques pueden llenarse hasta una altura de 24,40 metros y como el doble fondo está a una altura de 2,6 metros, la presión máxima que soportan es de:



$$P_{\max} = \rho_{\text{agua}} \cdot g \cdot (24,40 - 2,60) = 1.025 \cdot 9,81 \cdot 21,80 = 219,20 \text{ kPa}$$

Según el párrafo 2.4.1 - Sección 8 el espesor mínimo de las planchas de doble fondo deben cumplir los mismos requerimientos que las planchas exteriores del costado alto y bajo, usando la presión anterior en la expresión correspondiente:

$$\alpha_p = 1,2 - \frac{s}{2.100 \cdot l_p} = 1,2 - \frac{850}{2.100 \cdot 4,12} = 1,102$$

$$t_{p. \text{ doble fondo}} = 0,0158 \cdot 1,102 \cdot 850 \cdot \sqrt{\frac{319,20}{0,8 \cdot 235}} = 19,28 \text{ mm}$$

Teniendo en cuenta el margen por corrosión, el espesor final requerido es:

$$t_{p. \text{ doble fondo}} = 19,28 + 4,00 = 23,28 \text{ mm}$$

4.2.2 Planchas del doble casco

Las planchas del doble casco deben cumplir con el mismo requisito que las anteriores siendo la presión máxima a la que van a estar sometidas (en su punto más bajo situado a 5,081 m de la línea de base) de 294,26 kPa. El espesor mínimo es entonces:

$$\alpha_p = 1,2 - \frac{s}{2.100 \cdot l_p} = 1,2 - \frac{840}{2.100 \cdot 4,12} = 1,103$$

$$t_{p. \text{ doble casco}} = 0,0158 \cdot 1,103 \cdot 840 \cdot \sqrt{\frac{294,26}{0,8 \cdot 235}} = 18,31$$

Teniendo en cuenta el margen por corrosión, el espesor final requerido es:

$$t_{p. \text{ doble casco}} = 18,31 + 4,00 = 22,31 \text{ mm}$$

Como la presión de diseño de las planchas va descendiendo a medida que se asciende hacia la cubierta principal, el espesor también se irá reduciendo de manera proporcional.

4.2.3 Plancha zona de transición entre doble casco y doble fondo

En cuanto al espesor mínimo se toma el mayor de las zonas que conecta esta plancha, por tanto:

$$t_{p. \text{ transición d.casco-d.fondo}} = t_{p. \text{ doble fondo}} = 23,28 \text{ mm}$$

4.2.4 Mamparo longitudinal

Las planchas que forman el mamparo longitudinal que separa los tanques de carga por crujía deben cumplir los mismos requisitos que se han impuesto para las planchas de doble casco, siendo la presión máxima que pueden soportar igual a:



$$P_{\max} = \rho_{\text{Carga}} \cdot g \cdot h = 850 \cdot 9,81 \cdot 21,80 = 181,78 \text{ kPa}$$

La separación entre refuerzos horizontales en la plancha es de 840 mm por lo que:

$$\alpha_p = 1,2 - \frac{s}{2.100 \cdot l_p} = 1,2 - \frac{840}{2.100 \cdot 4,12} = 1,103$$

Y por tanto:

$$t_{p.M.\text{longitudinal}} = 0,0158 \cdot 1,103 \cdot 840 \cdot \sqrt{\frac{281,78}{0,8 \cdot 235}} = 17,92 \text{ mm}$$

Teniendo en cuenta el margen por corrosión, el espesor final requerido es:

$$t_{p.M.\text{longitudinal}} = 17,92 + 2,50 = 20,42 \text{ mm}$$

Un resumen con los espesores requeridos y los adoptados en las planchas de esta zona es:

Planchas	Espesor requerido (mm)	Espesor adoptado (mm)
P. doble fondo	23,28	26,00
P. doble casco	22,31	26,00 parte baja 24,00 parte alta
P. transición d.casco – d. fondo	23,28	26,00
P. mamparo longitudinal	20,42	23,00

4.2.5 Refuerzos de las planchas de doble fondo, doble casco y mamparo longitudinal

Los cálculos de los refuerzos en las distintas planchas del forro exterior se resumen en la siguiente tabla ("A" es el ala del refuerzo y "a" el alma):

Refuerzos	P (kPa)	s (mm)	Z _{Requerido} (cm ³)	Refuerzo adoptado	tipo	Z _{Real} (cm ³)
73 a 97 (M. longitudinal)	281,78	840	2.375	A: 580 x 19 a: 170 x 19	T	3.168
97 a 117 (doble fondo)	319,20	850	3.266	A: 600 x 20 a: 250 x 20	T	4.233
118 a 122 (chapa d.fondo – doble casco)	319,20	800	3.074	A: 590 x 20 a: 200 x 20	T	3.646
123 a 151 (doble casco)	294,26	840	2.480	A: 580 x 18 a: 180 x 18	T	3.028



4.3 Quilla vertical, vagras y palmejares

Es espesor mínimo requerido para estas planchas se establece en la Sección 8 parte 2.1.5:

4.3.1 Quilla vertical

El espesor mínimo de esta plancha es:

$$t_{P.\text{quilla vertical}} = 5,5 + 0,025 \cdot L_R = 5,5 + 0,025 \cdot 256,028 = 11,90 \text{ mm}$$

Teniendo en cuenta el margen por corrosión, el espesor final requerido es:

$$t_{P.\text{quilla vertical}} = 11,90 + 3,00 = 14,90 \text{ mm}$$

4.3.2 Vagras

El espesor mínimo de estas planchas es:

$$t_{P.\text{Vagras}} = 5,5 + 0,020 \cdot L_R = 5,5 + 0,020 \cdot 256,028 = 10,62 \text{ mm}$$

Teniendo en cuenta el margen por corrosión, el espesor final requerido es:

$$t_{P.\text{Vagras}} = 10,62 + 3,00 = 13,62 \text{ mm}$$

4.3.3 Palmejares

El espesor mínimo de estas planchas es:

$$t_{P.\text{Palmejares}} = 5,0 + 0,015 \cdot L_R = 5,0 + 0,015 \cdot 256,028 = 8,84 \text{ mm}$$

Teniendo en cuenta el margen por corrosión, el espesor final requerido es:

$$t_{P.\text{Palmejares}} = 8,84 + 3,00 = 11,84 \text{ mm}$$

Un resumen con los espesores requeridos y los adoptados en las planchas de esta zona es:

Planchas	Espesor requerido (mm)	Espesor con margen (mm)	Espesor adoptado (mm)
P. quilla vertical	14,90	15,65	16,00
P. vagras	13,62	14,30	15,00
P. palmejares	11,84	12,43	13,00



4.3.4 Refuerzos de la quilla vertical, vagras y palmejares

Los cálculos de los refuerzos en las distintas planchas del forro exterior se resumen en la siguiente tabla ("A" es el ala del refuerzo y "a" el alma):

Refuerzos	P (kPa)	s (mm)	Z _{Requerido} (cm ³)	Refuerzo adoptado	tipo	Z _{Real} (cm ³)
142 a 147 (Palmejares)	286,00	820	2023	460 x 23	B	2.369
148 a 151 (Vagras)	345,34	720	2346	480 x25	B	2.791
152 y 153 (Quilla vertical)	345,34	720	2346	480 x25	B	2.791

Se adoptan refuerzos de bulbo en estas zonas.

4.4 Quillas de balance

Se colocarán en la zona del pantoque sendas quillas de balance, extendiéndose a lo largo del 50% de la eslora en la sección media.

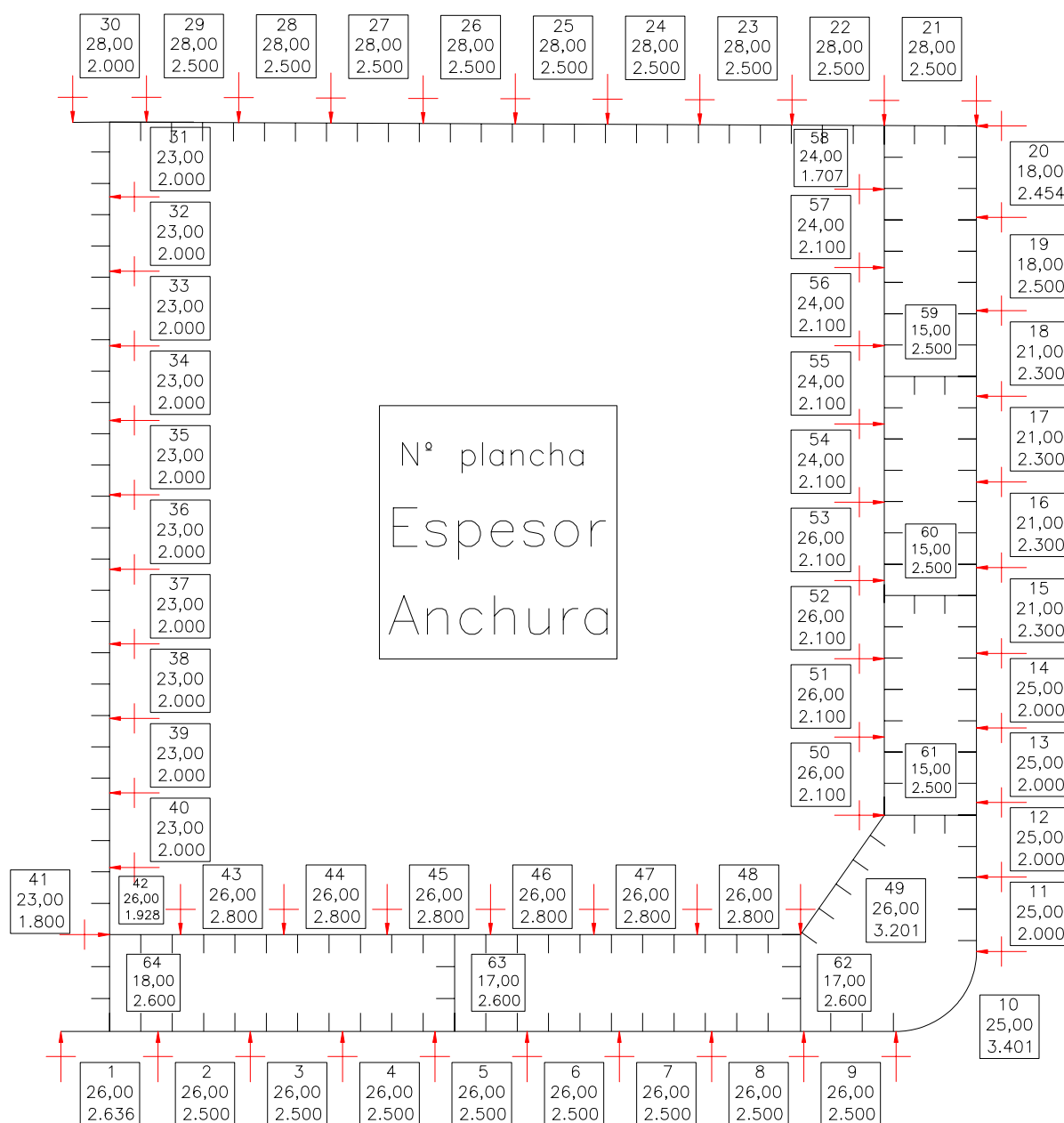
El perfil será de 395 x 20 mm y estará soldado a una barra plana 140 x 22 mm en el pantoque.



4.5 Disposición y características de los elementos longitudinales

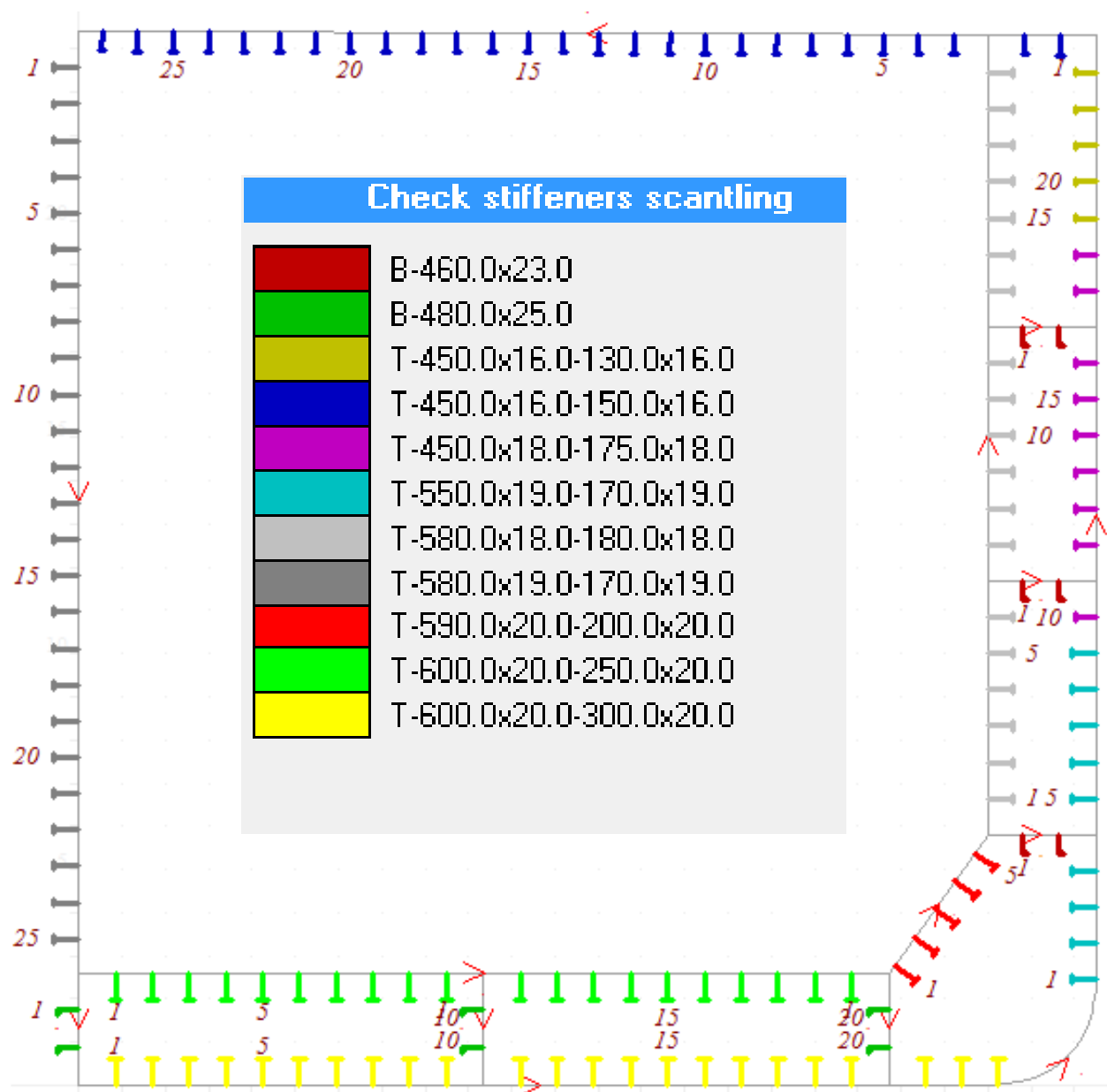
Después de haber fijado el espesor de cada una de las placas que forman la estructura longitudinal del buque, se ha ajustado la anchura de cada placa tomando como criterio la optimización del uso de anchuras comerciales, con objeto de realizar el mínimo número posible de cortes y soldaduras en la estructura longitudinal.

En el siguiente esquema se muestra la numeración de cada placa, su espesor y anchura (todo ello en milímetros):



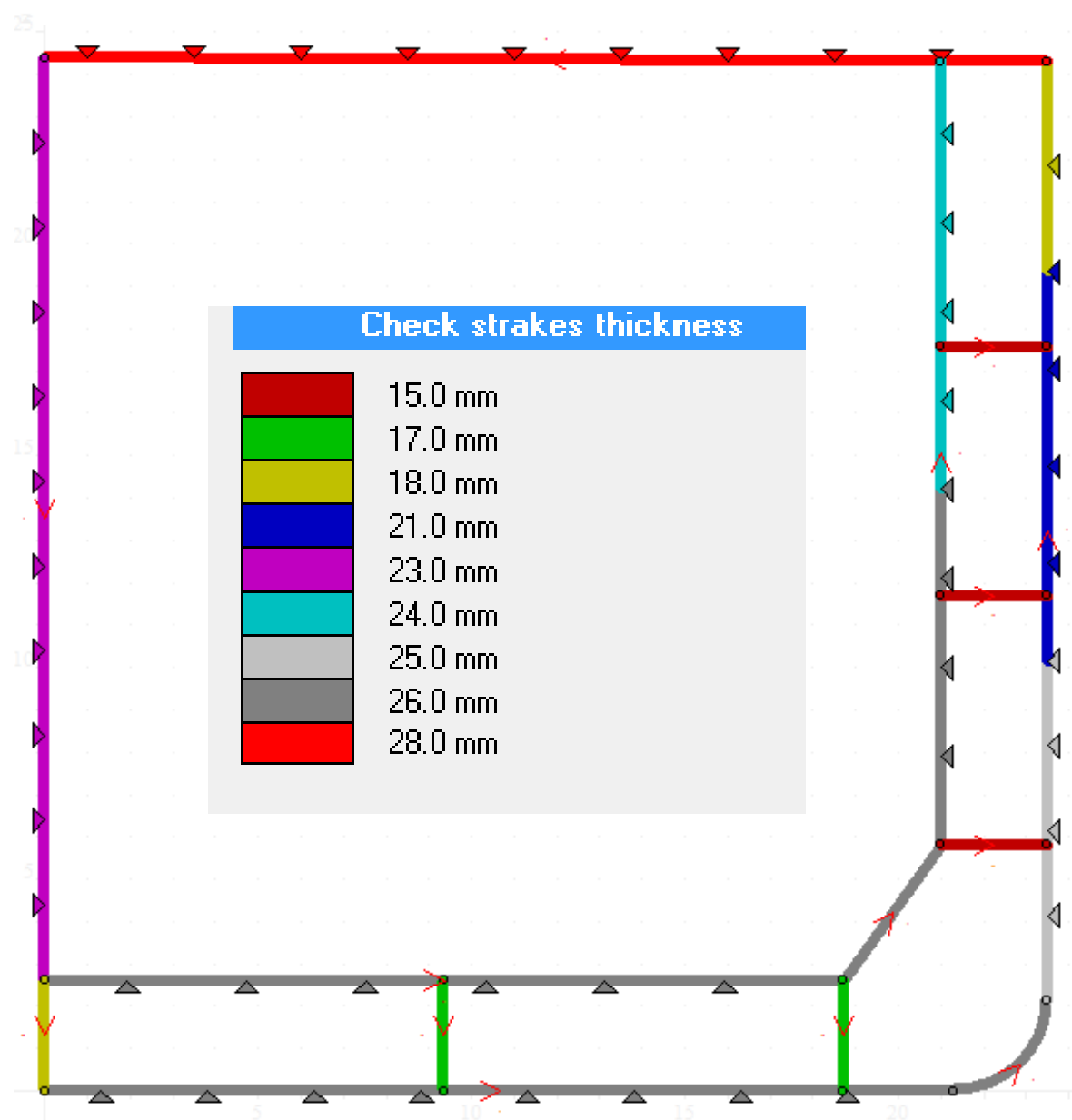


Las características de los refuerzos longitudinales se muestran en la siguiente imagen a través de un código de colores. La imagen se ha obtenido del programa Mars2000.





Del mismo modo se muestra el espesor y los cordones de soldadura de cada una de las planchas longitudinales:





Los cálculos geométricos que se obtienen del programa después de definir la estructura del buque son:

Geometric Properties

☐ Gross scantling
☒ Net scantling

Full section

Half section

(with 0.5 x CM)

Gross area of cross-section	9.78408	m2
Effective area of cross-section	9.78408	m2
Moment of inertia / GY axis	842.5366	m4
Moment of inertia / GZ axis	2572.8647	m4
Neutral axis (above base line)	10.107	m
Section modulus at deck (w/p)	58.9479	m3
Section modulus at bottom (w/f)	83.3608	m3



4.6 Requerimientos mínimos de las CSR

Momento de inercia de la cuaderna maestra (Sección 8 / 1.2.2.1)

El momento de inercia de la maestra con respecto al eje neutro horizontal " I_{\min} " no debe ser menor que el obtenido mediante la siguiente expresión:

$$I_{\min} = 2,7 \cdot C_{mv} \cdot L_R^3 \cdot B \cdot (Cb + 0,7) \cdot 10^{-3}$$

Donde:

" C_{mv} ": es un coeficiente de ola que viene dado por la expresión:

$$C_{mv} = 10,75 - \left[\frac{300 - L_R}{100} \right]^{3/2} = 10,75 - \left[\frac{300 - 256,028}{100} \right]^{3/2} = 10,458$$

Con ello ya se puede calcular el momento de inercia mínimo de la maestra:

$$I_{\min} = 2,7 \cdot 10,458 \cdot 256,028^3 \cdot 47,00 \cdot (0,8365 + 0,7) \cdot 10^{-8} = \mathbf{342,22 \text{ m}^4}$$

El momento de inercia de los elementos longitudinales con respecto al eje horizontal en el sentido de la manga, se obtuvo en el punto anterior y es **842,54 m⁴** por lo que se cumple con los requerimientos del reglamento.

Módulo resistente mínimo de la cuaderna maestra (Sección 8 / 1.2.2.2)

El módulo resistente mínimo de la cuaderna maestra " Z_{\min} " debe ser superior al obtenido a través de la expresión:

$$Z_{\min} = 0,9 \cdot k \cdot C_{mv} \cdot L_R^2 \cdot B \cdot (Cb + 0,7) \cdot 10^{-6}$$

Donde:

"k" es un factor en función del tipo de acero empleado en la estructura, para este caso vale 1,00.

Por lo que " Z_{\min} " vale:

$$Z_{\min} = 0,9 \cdot 1,00 \cdot 10,458 \cdot 256,028^2 \cdot 47,00 \cdot (0,8365 + 0,7) \cdot 10^{-6} = \mathbf{44,56 \text{ m}^3}$$

El criterio de módulo resistente se cumple puesto que:

Modulo resistente en cubierta	58,95 m ³
Módulo resistente en fondo	83,36 m ³



Momentos flectores

Momento flector en olas (Sección 7/3.4.1)

Los momentos flectores en arrufo y quebranto en olas según el reglamento son:

$$M_{\text{ola-arrufo}} = -f_{\text{prob}} \cdot 0,11 \cdot f_{\text{wv-v}} \cdot C_{\text{wv}} \cdot L_R^2 \cdot B \cdot (Cb + 0,7)$$
$$M_{\text{ola-quebranto}} = f_{\text{prob}} \cdot 0,19 \cdot f_{\text{wv-v}} \cdot C_{\text{wv}} \cdot L_R^2 \cdot B \cdot Cb$$

Donde:

“ f_{prob} ” y “ $f_{\text{wv-v}}$ ” son factores que para la zona de la maestra valen 1,00, por tanto:

$$M_{\text{ola-arrufo}} = -1,0 \cdot 0,11 \cdot 1,00 \cdot 10,458 \cdot 256,028^2 \cdot 47,00 \cdot (0,8365 + 0,7) = -5.445.612 \text{ kN m}$$
$$M_{\text{ola-quebranto}} = 1,00 \cdot 0,19 \cdot 1,00 \cdot 10,458 \cdot 256,028^2 \cdot 47,00 \cdot 0,8365 = 5.120.837 \text{ kN m}$$

Momento flector en aguas tranquilas

Para obtener el momento flector máximo admisible se acude al reglamento de la sociedad de clasificación (Parte 3-Capítulo 4). Los momentos flectores tanto en arrufo como en quebranto para aguas tranquilas (se toma el menor de los dos, el subíndice “D” significa cubierta y “B” fondo) es:

$$|M_{\text{at}}|_D = F_D \cdot \sigma \cdot Z_D \cdot 10^3 - |M_W| \text{ (kN m)}$$

$$|M_{\text{at}}|_B = F_B \cdot \sigma \cdot Z_B \cdot 10^3 - |M_W| \text{ (kN m)}$$

Donde:

“ F_D ” y “ F_B ” son factores de reducción local definidos en el L.R.S. (Parte 3 Ch 4 5.1.1.) los cuales se tomarán respectivamente igual a 0,96 y 0,97.

“ σ ” es la tensión máxima permitida siendo igual a:

$$\sigma = \frac{175}{K_L}$$

Donde “ K_L ” es a su vez un factor que para $\sigma_{yd} = 235 \text{ N/mm}^2$ vale 1 por lo que $\sigma = 175 \text{ N/mm}^2$.

“ Z_D ” y “ Z_B ” son los módulos resistentes de la sección en cubierta y del fondo que valen $58,95 \text{ m}^3$ y $83,36 \text{ m}^3$.

“ $|M_W|$ ” es el momento de ola de diseño se toma el mayor de los que se han calculado en el punto anterior que corresponde a la condición de arrufo y vale - 5.445.612 kN m.

En resumen, se tiene que:

$$|M_{\text{at}}|_D = 4.457.988 \text{ kN m} = 454.433,03 \text{ t m}$$

$$|M_{\text{at}}|_B = 8.704.748 \text{ kN m} = 887.334,15 \text{ t m}$$

Por lo que el máximo momento flector admisible en aguas tranquilas es $\pm 454.433 \text{ t m}$.



Los momentos flectores máximos en aguas tranquilas para las distintas condiciones de carga se obtuvieron en el cuaderno 9 de proyecto y se resumen en la siguiente tabla:

Condición de carga	M. flector máximo (+)	M. flector máximo (-)
0001 Plena carga salida	8.277,31 t m	-149.932,73 t m
0002 Plena carga llegada	26.142,14 t m	-163.297,00 t m
0003 Lastre salida	390.922,84 t m	-7,43 t m
0004 Lastre llegada	356.686,10 t m	-6,79 t m
0005 Lastre IMO	321.721,10 t m	-8,32 t m
0006 Lastre mal tiempo salida	309.355,31 t m	-258.182,81 t m
0006 Lastre mal tiempo llegada	231.249,14 t m	-353.180,70 t m

Nota: Los valores positivos son en quebranto y los negativos en arrufo.

Esfuerzos cortantes

El reglamento distingue entre buques con dos mamparos longitudinales y buques con un mamparo longitudinal en la zona de carga, para el caso del buque proyecto (un mamparo longitudinal) se tiene que:

Esfuerzos cortantes en olas (Sección 7/3.4.3.1)

Los esfuerzos cortantes máximos debidos al oleaje " Q_{ola} " vienen dados por la expresión:

$$Q_{ola} = \pm 0,3 \cdot f_q \cdot C_{wv} \cdot L_R \cdot B \cdot (Cb + 0,7)$$

Donde:

" f_q " es un factor que para la zona de la maestra vale 1,0 por lo que los esfuerzos cortantes máximos admisibles en olas son:

$$Q_{ola} = \pm 0,3 \cdot 1,0 \cdot 10,458 \cdot 256,028 \cdot 47,00 \cdot (0,8365 + 0,7) = \pm \mathbf{116.014 \text{ kN}}$$

Esfuerzos cortantes en aguas tranquilas (Sección 7 / 2.1.4.2)

Para obtener el esfuerzo cortante máximo admisible en aguas tranquilas se acude al reglamento de la sociedad de clasificación (Parte 3-Capítulo 4-Apartado 6.4). Donde se establecen los límites para los esfuerzos cortantes en aguas tranquilas " Q_{at} ", los cuales se calculan a través de la siguiente expresión:



$$|Q_{at}| = \tau \cdot \frac{I_H \cdot \delta_i}{100 \cdot A_z} - |Q_{ola}|$$

Siendo:

“ τ ” es la tensión tangencial máxima permitida siendo igual a:

$$\tau = \frac{110}{K_L}$$

Donde “ K_L ” es un factor que para acero dulce naval ($\sigma_{yd} = 235 \text{ N/mm}^2$) vale 1 por lo que $\tau = 110 \text{ N/mm}^2$.

“ $|Q_{ola}|$ ” Esfuerzo cortante máximo admisible en olas, se calculó en el punto anterior y es igual a 116.014 kN.

“ I_H ” Momento de inercia con respecto al eje horizontal en el sentido de la manga de la sección maestra, se obtuvo en el punto 4.4 a través del programa Mars2000 y es igual a 842,54 m⁴.

“ A_z ” Momento de primer orden del área de los elementos considerados con respecto al eje neutro de la sección maestra en cm³.

$\delta_i = \frac{t_i}{f_i + m_i}$ Donde “ t_i ” es el espesor del elemento considerado y “ f_i ” y “ m_i ” factores a determinar según las tablas 4.6.1. y 4.6.2. del reglamento:

	<p>Member 1 $f_1 = 0,055 + 0,097 A_1/A_2 + 0,020 A_2/A_3$ Member 2 $f_2 = 0,193 - 0,059 A_1/A_2 + 0,058 A_2/A_3$ Member 3 $f_3 = 0,504 - 0,076 A_1/A_2 - 0,156 A_2/A_3$</p>
<p>Type E</p>	<p>$m_1 = \frac{m_3}{4}, \quad m_2 = \frac{m_3}{4}, \quad m_3 = (0,1 + r) 0,5 \left(1 - \frac{b_2}{B}\right)$</p>

Se debe elegir el “ $|Q_{at}|$ ” mínimo en las distintas zonas en las que se aplica esta ecuación:

i	t_i (mm)	A_z (cm ³)	f_i	m_i	δ_i	$ Q_{at} $ (kN)
1	18	925.453	0,015	0,0014	1.095,890	334.939,10
2	24	1.335.234	0,014	0,0014	1.555,916	331.020,13
3	23	1.125.318	0,019	0,0057	931,174	170.857,54

Por lo que el esfuerzo cortante máximo admisible en aguas tranquilas es: **170.857 kN**
= 17.416,67 t



Los esfuerzos cortantes en aguas tranquilas para las distintas condiciones de carga se obtuvieron en el Cuaderno 9 de proyecto y se resumen en la siguiente tabla:

Condición de carga	E. cortante máximo (+)	E. cortante máximo (-)
0001 Plena carga salida	2.123,72 t	-1.975,79 t
0002 Plena carga llegada	2.171,71 t	-4.336,50 t
0003 Lastre salida	7.527,56 t	-4.229,60 t
0004 Lastre llegada	4.797,78 t	-4.102,47 t
0005 Lastre IMO	4.039,86 t	-3.830,72 t
0006 Lastre mal tiempo salida	8.939,87 t	-13.349,69 t
0006 Lastre mal tiempo llegada	9.784,55 t	-13.033,04 t

Nota: Los valores positivos son en quebranto y los negativos en arrufo.



4.7 Estudio de pandeo de los elementos longitudinales

En este punto se va a realizar un estudio de pandeo de los elementos longitudinales según lo indicado en las CSR.

4.7.1 Planchas

Momento flector

La tensión debida a momento flector en cada una de las planchas de la cuaderna maestra se obtiene a través de las siguientes expresiones, donde hay que seleccionar el mayor valor (Sección 8 / 1.4.2.3):

$$\sigma_{M.Flector} = \left| \frac{(z - z_{E.N.}) \cdot \left(M_{\text{Máximo A. tranquilas}} + M_{\text{Máximo Olas}} \right)}{I_{V.Elementos longitudinales}} \right| \cdot 10^{-3} \text{ N/mm}^2$$

O bien

$$\sigma_{M.Flector} = 30,0 \text{ N/mm}^2$$

Donde:

- “z” altura del punto de referencia de la plancha, que se toma igual a su centro de gravedad.
- “z_{E.N.}” distancia vertical entre el punto de referencia de la plancha y el eje neutro.
- “M_{Máximo A tranquilas}”: Momento flector máximo permitido por el reglamento en aguas tranquilas.
- “M_{Máximo Olas}”: Momento flector máximo en olas. Se deben elegir los momentos cuya suma sea máxima en las condiciones de arrufo o quebranto, esta suma se toma igual a 9.903.600 kN m.
- “I_{V E. longitudinales}” Momento de inercia con respecto al eje horizontal en el sentido de la manga del buque, se obtuvo en el punto 4.4 a través del programa Mars2000 y es igual a 842,54 m⁴.

La tensión crítica de pandeo por momento flector (Sección 10 / 3.2) es:

$$\sigma_{\text{Crítica}} = C_x \cdot \sigma_{yd}$$

Donde:

- “C_x”: Es un coeficiente definido por una expresión que es función del tipo de plancha (en base a su posición en la cuaderna maestra), para simplificar los cálculos se va a tomar el caso más desfavorable que es aquel en el que la C_x es lo más bajo posible e igual a 0,65
- “σ_{yd}” como se ha dicho en puntos anteriores este parámetro es igual a 235 N/mm², por lo que la tensión crítica por momento flector en las planchas es igual a:

$$\sigma_{\text{Crítica}} = 0,65 \cdot 235 = 152,8 \text{ N/mm}^2$$



El criterio de pandeo (Sección 8 / 1.4.2.6) establece que la relación entre la tensión debida a momento flector y la tensión crítica debe ser inferior a 1 para planchas por encima de la mitad del puntal (12,20 metros) y 0,9 para planchas por debajo de la mitad del puntal

Esfuerzos cortantes

La tensión debida al esfuerzo cortante en cada una de las planchas de la cuaderna maestra se obtiene a través de la siguiente expresión (Sección 8 / 1.4.2.5):

$$\tau_{E.Cortante} = \left| \left(Q_{\text{Máximo A. tranquilas}} + Q_{\text{Máximo Olas}} \right) \frac{1.000 \cdot q_v}{t_{\text{Plancha}}} \right| \cdot \text{N/mm}^2$$

Donde:

- “ $Q_{\text{Máximo A. tranquilas}}$ ”: Esfuerzo cortante máximo permitido por el reglamento en aguas tranquilas, es igual a 170.857,54 kN.
- “ Q_{Olas} ”: Momento flector máximo permitido en olas que es igual a 116.014 kN como se indicó en puntos anteriores.
- “ q_v ” Factor de área, su valor depende de la posición en la que se encuentre la plancha y es igual a :

$$q_v = f_i \cdot \left(\frac{q_1}{I_{V.Elementos longitudinales}} \right) \cdot 10^{-9} \text{ mm}^2$$

Donde:

- “ f_i ” Es un factor de distribución de esfuerzo cortante en función de la posición de la plancha considerada.
- “ $I_{V.E. longitudinales}$ ” Momento de inercia con respecto al eje horizontal en el sentido de la manga del buque, se obtuvo en el punto 4.4 a través del programa Mars2000 y es igual a 843,54 m⁴.
- “ q_1 ” Momento del espesor de la plancha considerada con respecto al eje neutro de la sección maestra en cm².
- “ t_{Plancha} ” Es el espesor de la plancha considerada.

La tensión crítica de pandeo por esfuerzo cortante (Sección 10 / 3.2) es:

$$\tau_{\text{Crítica}} = C_t \cdot \frac{\sigma_{yd}}{\sqrt{3}}$$

Donde:

“ C_t ”: Es un coeficiente definido por una expresión que es función del tipo de plancha, como en el caso del momento flector se va a tomar el valor más desfavorable de este parámetro para todas las planchas e igual a 0,75. La tensión crítica es entonces:

$$\tau_{\text{Crítica}} = 0,75 \cdot \frac{235}{\sqrt{3}} = 101,8 \text{ N/mm}^2$$

El criterio de pandeo (Sección 8 / 1.4.2.7) establece que la relación entre la tensión debida al esfuerzo cortante máximo y la tensión crítica debe ser inferior a 0,95 para todas las planchas



En la siguiente tabla se resumen los cálculos para todas las planchas de la cuaderna maestra. La nomenclatura de estas planchas se estableció en el punto 4.4 del presente documento. Además se han señalado en rojo las planchas que están por debajo de la mitad del puntal puesto que para el pandeo por momento flector, el criterio es distinto para estas planchas.

Plancha	$\sigma_{M.Flector}$ (N/mm ²)	$\frac{\sigma_{M.Flector}}{\sigma_{Crítico}}$	¿Pandea?	$\tau_{E.cortante}$ (N/mm ²)	$\frac{\tau_{E.cortante}}{\tau_{Crítico}}$	¿Pandea?
1	119,38	0,78	No	53,98	0,53	No
2	119,38	0,78	No	53,98	0,53	No
3	119,38	0,78	No	53,98	0,53	No
4	119,38	0,78	No	53,98	0,53	No
5	119,38	0,78	No	53,98	0,53	No
6	119,38	0,78	No	53,98	0,53	No
7	119,38	0,78	No	53,98	0,53	No
8	119,38	0,78	No	53,98	0,53	No
9	119,38	0,78	No	53,98	0,53	No
10	109,33	0,72	No	49,44	0,49	No
11	79,94	0,52	No	36,15	0,36	No
12	55,13	0,36	No	24,93	0,24	No
13	30,33	0,20	No	13,71	0,13	No
14	5,52	0,04	No	2,50	0,02	No
15	20,15	0,13	No	9,11	0,09	No
16	48,68	0,32	No	22,01	0,22	No
17	77,21	0,51	No	34,91	0,34	No
18	105,73	0,69	No	47,81	0,47	No
19	136,25	0,89	No	61,61	0,61	No
20	131,86	0,86	No	55,90	0,55	No
21	131,94	0,86	No	62,15	0,61	No
22	131,94	0,86	No	62,15	0,61	No
23	131,94	0,86	No	62,15	0,61	No
24	131,94	0,86	No	62,15	0,61	No
25	131,94	0,86	No	62,15	0,61	No
26	131,94	0,86	No	62,15	0,61	No
27	131,94	0,86	No	62,15	0,61	No
28	131,94	0,86	No	62,15	0,61	No
29	131,94	0,86	No	62,15	0,61	No
30	137,44	0,90	No	62,15	0,61	No
31	136,68	0,89	No	57,95	0,57	No
32	116,84	0,76	No	49,53	0,49	No
33	121,24	0,79	No	54,83	0,54	No
34	96,43	0,63	No	43,61	0,43	No
35	71,63	0,47	No	32,39	0,32	No
36	46,82	0,31	No	21,17	0,21	No
37	22,02	0,14	No	9,96	0,10	No
38	2,79	0,02	No	1,26	0,01	No
39	27,60	0,18	No	12,48	0,12	No
40	52,40	0,34	No	23,70	0,23	No
41	79,69	0,52	No	36,04	0,35	No
42	87,13	0,57	No	39,40	0,39	No
43	87,13	0,57	No	39,40	0,39	No



Plancha	$\sigma_{M.Flector}$ (N/mm ²)	$\frac{\sigma_{M.Flector}}{\sigma_{Crítico}}$	¿Pandeo?	$\tau_{E.cortante}$ (N/mm ²)	$\frac{\tau_{E.cortante}}{\tau_{Crítico}}$	¿Pandeo?
44	87,13	0,57	No	39,40	0,39	No
45	87,13	0,57	No	39,40	0,39	No
46	87,13	0,57	No	39,40	0,39	No
47	87,13	0,57	No	39,40	0,39	No
48	87,13	0,57	No	39,40	0,39	No
49	67,29	0,44	No	30,43	0,30	No
50	34,29	0,22	No	15,51	0,15	No
51	8,25	0,05	No	3,73	0,04	No
52	17,80	0,12	No	8,05	0,08	No
53	43,84	0,29	No	19,83	0,19	No
54	69,89	0,46	No	31,61	0,31	No
55	95,94	0,63	No	43,38	0,43	No
56	121,98	0,80	No	55,16	0,54	No
57	118,42	0,78	No	50,21	0,49	No
58	137,28	0,90	No	58,20	0,57	No
59	98,66	0,65	No	44,62	0,44	No
60	25,74	0,17	No	11,64	0,11	No
61	47,43	0,31	No	21,45	0,21	No
62	103,25	0,68	No	46,69	0,46	No
63	103,25	0,68	No	46,69	0,46	No
64	103,25	0,68	No	46,69	0,46	No

En este resumen de los cálculos efectuados puede verse que ninguna de las planchas de la cuaderna maestra falla por pandeo bajo el momento flector y el esfuerzo cortante máximo permitido por el reglamento.

4.7.2 Refuerzos

Con respecto a los refuerzos longitudinales solo se considera el pandeo por compresión debido a momento flector, para su cálculo se hace uso de la siguiente expresión (Sección 10 / 3.3):

$$\eta = \frac{\sigma_x + \sigma_b}{\sigma_{yd}}$$

Donde “ η ” es el factor de utilización de cada refuerzo, según el criterio de pandeo indicado en la Sección 8 / 1.4.2.6 debe cumplirse que:

- $\eta \leq 1,00$ para refuerzos situados por encima de la mitad del puntal de trazado (12,20 m).
- $\eta \leq 0,95$ para refuerzos situados por debajo de la mitad del puntal de trazado.

En la expresión anterior los parámetros son:

- “ σ_x ” (N/mm²) Esfuerzo de compresión axial se calcula según lo indicado en la Sección 3 / 5.2.3.1
- “ σ_b ” (N/mm²) Esfuerzo provocado por la flexión en la mitad de la longitud del refuerzo, es igual a:



$$\sigma_b = \frac{M_0 + M_1}{1.000 \cdot Z_{net}}$$

- “M₀” (N mm) Momento flector debido a la deformación lateral, es igual a:

$$M_0 = F_E \cdot \left(\frac{P_z \cdot w}{c_f - P_z} \right)$$

Donde “F_E” es un parámetro proporcional al módulo de elasticidad del acero que se toma igual a 206.000 N/mm², “P_z” es la presión lateral, se toma igual a la presión de diseño de la plancha a la que va soldado cada refuerzo, “w” deformación máxima del refuerzo en mm, “c_f” factor de elasticidad del refuerzo, que se calcula a través de otra expresión.

- “M₁” (N mm) Momento flector debido a la carga lateral provocada por la presión a la que está sometido el refuerzo, es igual a:

$$M_1 = \frac{P \cdot s \cdot l_{stf}^2}{24} \cdot 10^3$$

Donde “s” es la separación entre refuerzos que depende de la zona, “l_{stf}” es la longitud del refuerzo que se toma igual a 4,12 metros y “P” la presión lateral a la que está sometido el refuerzo.

- “Z_{net}”: Módulo del refuerzo considerado en cm³
- “σ_{yd}” como se ha dicho en puntos anteriores este parámetro es igual a 235 N/mm²

Debido a la gran cantidad de parámetros que intervienen en este apartado, los cálculos se han realizado estimando valores medios entre los rangos admisibles para la mayoría de los parámetros.

Para el cálculo se han agrupado los refuerzos por zonas tal como se hizo en el punto de definición de cada uno de ellos, su nomenclatura coincide con la especificada en el punto 4 del presente documento. Se exigirá que todos los refuerzos cumplan con el criterio más restrictivo de pandeo que es $\eta \leq 0,95$, en la siguiente tabla se resumen los cálculos efectuados:

Refuerzos	P (kPa)	s (mm)	Z _{net} (cm ³)	“σ _x ” (N/mm ²)	“σ _b ” (N/mm)	η
1 a 23 (fondo)	345,35	850	4.691	56,23	91,28	0,628
24 a 32 (costado bajo)	256,23	840	2.874	43,23	66,93	0,469
33 a 41 (costado medio)	135,09	840	2.037	22,79	35,28	0,247
42 a 46 (costado alto)	100,00	840	1.395	16,87	26,12	0,183
47 a 72 (Cubierta)	100,00	840	1.517	16,87	26,12	0,183



Refuerzos	P (kPa)	s (mm)	Z_{net} (cm ³)	" σ_x " (N/mm ²)	" σ_b " (N/mm)	η
73 a 97 (M. longitudinal)	281,78	840	3.168	47,54	73,60	0,515
97 a 117 (doble fondo)	319,20	850	4.233	51,98	84,37	0,580
118 a 122 (chapa d. fondo – doble casco)	319,20	800	3.646	62,34	79,40	0,603
123 a 151 (doble casco)	294,26	840	3.028	49,65	76,86	0,538
142 a 147 (Palmejares)	286,00	820	3.300	51,87	76,57	0,547
148 a 151 (Vagras)	345,34	860	3.736	54,29	96,97	0,644
152 y 153 (Quilla vertical)	345,34	860	3.736	54,29	96,97	0,644



5 ACERO TRANSVERSAL

El anillo transversal que sirve como soporte de los elementos primarios de la estructura longitudinal, está compuesto por transversales de fondo, costado y cubierta. Este anillo se repite a lo largo de la zona de carga cada 4,12 m, como se especificó en el punto 6.5 del cuaderno 3 de disposición general.

El escantillón de estos elementos ha sido determinado siguiendo los criterios especificados en la Sección 8 / 2.6 de las CSR donde se indica los requerimientos mínimos de cada elemento en función de la zona en la que se encuentre como se describe en los siguientes puntos:

5.1 Transversales de fondo

El espesor mínimo de los transversales de fondo viene dado por la expresión:

$$t_{T.fondo} = 5,5 + 0,02 \cdot L_R = 5,5 + 0,02 \cdot 256,028 = 10,62 \text{ mm}$$

Teniendo en cuenta el margen por corrosión, el espesor total mínimo requerido es:

$$t_{T.fondo} = 10,62 + 4,0 = 14,62 \text{ mm}$$

Para los transversales de fondo se decide adoptar un espesor de 18 mm.

5.2 Transversales de costado y de mamparo longitudinal

El espesor mínimo de los transversales del costado y de mamparo longitudinal viene dado por la expresión:

$$t_{\substack{T.costado \\ \text{mamparo longitudinal}}} = 5,0 + 0,015 \cdot L_R = 5,0 + 0,015 \cdot 256,028 = 8,84 \text{ mm}$$

Teniendo en cuenta el margen por corrosión, el espesor total mínimo requerido es:

$$t_{\substack{T.costado \\ \text{mamparo longitudinal}}} = 8,84 + 3,0 = 11,84 \text{ mm}$$

Para los transversales de costado y del mamparo longitudinal se decide adoptar un espesor de 15 mm.

5.3 Transversales de cubierta

El espesor mínimo de los transversales de cubierta viene dado por la expresión:

$$t_{T.cubierta} = 5,5 + 0,015 \cdot L_R = 5,5 + 0,015 \cdot 256,028 = 9,34 \text{ mm}$$

Teniendo en cuenta el margen por corrosión, el espesor total mínimo requerido es:



$$t_{T.cubierta} = 9,34 + 4,0 = 13,34 \text{ mm}$$

Para los transversales de cubierta se decide adoptar un espesor de 16 mm.

5.4 Refuerzos transversales de pantoque

Se refuerza el pantoque mediante cartelas soldadas desde el último refuerzo del fondo hasta el primer refuerzo del costado.

Las dimensiones de estas planchas son 395 x 20 mm y están espaciadas la misma longitud que los elementos transversales 4,12 metros.



6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Durante el desarrollo de todo el proyecto se ha hecho uso de una serie de referencias bibliográficas, las cuales se enumeran a continuación:

- [1] Ricardo Alvariño Castro, Juan José Azpíroz y Manuel Meizoso..; *“El proyecto básico del buque mercante”*, Ed. Fondo Editorial de Ingeniería Naval; Pub. 2007.
- [2] Lamb, Thomas (Written by an international group of authorities); *“Ship design and construction”*, Ed. Society of Naval Architects and Marine Engineers; Pub 2004.
- [3] Holtrop, J. y Mennen G.G.J.; *“An approximate power prediction method”*, International Shipbuilding Progress; Pub 1982.
- [4] Antonio Vaquero; *“Teoría del buque. Lecciones de resistencia al avance”*, Departamento de Artes Gráficas E.T.S.I.N.; Edición 2002.
- [5] Antonio Vaquero; *“Teoría del buque. Introducción a la propulsión de buques”*, Departamento de Artes Gráficas E.T.S.I.N.; Edición 2005.
- [6] Capitán I.G. Reigadas; *“El buque tanque”*, Ediciones EDG; Pub 2004.
- [7] David G. M. Watson; *“Practical Ship Design”*, ELSEVIER OCEAN ENG. BOOK SERIES; Pub 1998.
- [8] Guillermo Ricardo Gadea; *“Los buques tanque y su clasificación”*, PETROTECNIA; Abril 2004
- [9] M.A. Meizoso, J.L. Garcés; *“Apuntes de proyectos”*, Departamento de Artes Gráficas E.T.S.I.N.
- [10] G. Pérez; *“Teoría del buque (Máquinas) Tomo II-B”*, Departamento de Artes Gráficas E.T.S.I.N.
- [11] Antonio Baquero; *“Análisis de comportamiento del buque bajo la acción del timón. Aspectos hidrodinámicos y de proyecto”*, Tesis Doctoral; Canal de experiencias hidrodinámicas, el Pardo; Publicación núm. 66. Madrid, Noviembre de 1981.
- [12] Álvaro Zurita y Sáez de Navarrete; *“Introducción al diseño de cámara de máquinas”*, Sección de Publicaciones E.T.S.I.N.
- [13] K. Van Dokkum; *“Ship knowledge, a modern encyclopedia”*, Editorial Dokmar; Pub 2003
- [14] Luis Ramón Núñez Rivas; Apuntes de clase de la asignatura “Instalaciones de vapor”, Año 2006.



- [15] Alfonso López de Asiaín Zabia; Apuntes de clase de la asignatura “Equipo y servicios”, Año 2004.
- [16] Amable López Piñeiro; “Electricidad aplicada al buque – Diseño general de la planta eléctrica”, Departamento de Artes Gráficas E.T.S.I.N; Pub 1999.
- [17] Amable López Piñeiro; “Distribución eléctrica a bordo”, Departamento de Artes Gráficas E.T.S.I.N; Pub 1999.
- [18] Manuel Meizoso Fernández y José Luis García Garcés. “Desplazamiento. Cálculo iterativo del peso en rosca y el peso muerto”, Departamento de publicaciones de la ETSIN; Pub Junio 2000
- [19] Manuales de FORAN60.
- [20] “Common Structural Rules for Double Hull Oil Tankers (CSR)” publicadas por IACS y en vigor desde el 1 de Abril de 2006
- [21] Lloyds Register of Shipping; “Rules and Regulations for the Classification of Ships”; Edición de 2007
- [22] Convenio SOLAS, Edición consolidada 2004.
- [23] Convenio MARPOL 73/78/90 y enmiendas.
- [24] Convenio Internacional sobre Líneas de Carga de 66/88 (Edición revisada 2005).
- [25] Convenio Internacional de 23 de Junio de 1969, sobre Arqueo de Buques hecho en Londres. En vigor desde 18 de Julio de 1982.
- [26] Lloyd’s Register of Shipping; *Lloyd’s Register Information*; <http://www.lr.org>
- [28] Jaime Torroja Méndez. “Apuntes de proyectos. Volumen 1”, Departamento de publicaciones de la ETSIN; Pub 1987.
- [29] “Standards for Oil Tanker Manifolds and Associated Equipment”; Oil Companies International Marine Forum (OCIMF). 3rd Edition 1981.
- [30] “Recommendations for Equipment Employed in the Mooring of Ships at Single Point Moorings”; Oil Companies International Marine Forum (OCIMF). 2nd Edition, 1988.
- [31] “Shipping and shipbuilding markets. Annual Review 2009”; Barry Rogliano Salles. Pub 2009.

PROYECTO 1.731
PETROLERO PARA CRUDO 150.000 TPM

CUADERNO 7

CÁMARA DE MÁQUINAS



Tutor: D. Francisco Alonso Thous

Realizado por: José Antonio Durango Ramón



CONTENIDOS

1	INTRODUCCIÓN	2
2	NOMENCLATURA	3
3	EQUIPO PROPULSOR	4
3.1	Motor principal	4
3.2	Disposición en la cámara de máquinas del motor principal	8
4	GRUPOS GENERADORES DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....	15
5	CALDERAS	17
6	ELECCIÓN DEL TIPO DE COMBUSTIBLE.....	19
6.1	Fuel pesado (HFO)	19
6.2	Combustible diesel (MDO).....	21
7	SERVICIOS Y EQUIPOS EN CÁMARA DE MÁQUINAS.....	22
7.1	Servicio de combustible	22
7.1.1	Sistema de combustible pesado (HFO)	24
7.1.2	Sistema de combustible ligero (MDO)	32
7.2	Servicio de lubricación	33
7.2.1	Sistema de lubricación del motor principal.....	33
7.2.2	Sistema de lubricación de los motores auxiliares	38
7.3	Servicio de refrigeración	39
7.4	Servicio de lastre	41
7.5	Servicio de agua dulce	43
7.6	Servicio de aire comprimido	45
7.7	Servicio de exhaustación de gases de escape.....	47
7.7.1	Motor principal.....	47
7.7.2	Motores auxiliares y calderas.....	50
7.8	Ventilación y extracción de cámara de máquinas	51
7.9	Servicios de habilitación	54
7.9.1	Climatización: Aire acondicionado y calefacción	54
7.9.2	Cámaras refrigeradas (gambuzas)	57
7.9.3	Agua potable.....	58
7.9.4	Agua caliente	59
7.10	Servicios ecológicos	60
7.10.1	Planta de tratamiento de aguas residuales.....	60
7.10.2	Sistema de sentinas o achique	60
7.10.3	Incinerador	63
7.11	Balance de vapor	64
7.12	Línea de ejes	67
8	DISPOSICIÓN GENERAL DE LA CÁMARA DE MÁQUINAS	69
9	LISTADO DE TODOS LOS ELEMENTOS INSTALADOS Y REPRESENTADOS.....	75
10	CONCLUSIONES	77
11	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	78
ANEXO 1 DOCUMENTO GENERADO POR EL FABRICANTE DEL MOTOR PROPULSOR “ENGINE ROOM DIMENSIONING”		80



1 INTRODUCCIÓN

La cámara de máquinas se puede definir como un espacio cerrado integrado en el buque, donde se sitúan los dispositivos y sistemas que transforman la energía almacenada a bordo, en energía utilizable en forma de energía mecánica, eléctrica o cualquier otra requerida por las necesidades del buque. En la cámara de máquinas también se disponen elementos que no son transformadores de energía, pero por su diseño y especificidad requieren para su uso y mantenimiento, conocimientos similares a tales equipos y por tanto es adecuado y necesario el disponerlos en sus inmediaciones.

En el presente cuaderno se va a definir detalladamente la cámara de máquinas del buque, en lo que respecta a disposición general y definición y dimensionamiento de los equipos más importantes.

Para ello se ha hecho uso de las referencias [12] a [15] que se presentan en el punto 11 al final del presente documento.

Aunque en el punto 8 se presentan unas imágenes de la disposición general de las distintas plataformas en las que se ha dividido la cámara de máquinas, éstas se presentan en un plano a parte en formato A1 y a escala 1:250.

Durante el proyecto se viene empleado el sistema internacional de unidades, sin embargo, en ciertos puntos de este cuaderno se van a emplear otras unidades (fundamentalmente en los cálculos termodinámicos) debido a que facilitan los cálculos notablemente.

Los servicios principales que han de considerarse a lo largo de los siguientes puntos son:

- Propulsión
- Generación eléctrica
- Servicio de vapor
- Servicio de agua de mar
- Servicio de agua dulce
- Ventilación y extracción
- Servicio de aire comprimido
- Servicio de combustible
- Engrase y lubricación
- Servicios de habilitación
- Servicios ecológicos



2 NOMENCLATURA

Variable	Descripción (unidades)
P	Potencia (kW)
Q	Caudal volumétrico (m^3/s)
Δp	Diferencia de presión (Pa)
η	Rendimiento total del equipo
Q_M	Caudal másico (kg/h)
q	Energía, flujo de calor (kcal/h)
h	Entalpía de un fluido (kcal/h)
ce	Calor específico de un fluido (kcal/kg °C)
T	Temperatura (° C)
p_v	Presión vapor de agua (kgf/cm ²)
v	Velocidad (m/s)
ρ	Densidad (kg/m ³)
F	Fuerza, peso (N)
t	Tiempo (horas)
V	Volumen (m ³)
S	Superficie, Área (m ²)
r	Calor de vaporización del vapor saturado seco (kcal/kg _v)
K	Coficiente total de termotransferencia por convección (kcal/h m ² °C)
C	Consumo de combustible de un equipo o sistema (kg/h)
q	Flujo de calor (kcal/h)



3 EQUIPO PROPULSOR

En el cuaderno 5 se justificó la elección del motor principal, en la página web del fabricante del motor (MAN B&W), se ofrece un documento que en función del tipo de motor seleccionado ofrece datos útiles para el dimensionamiento de tanques y servicios que deben instalarse para el correcto funcionamiento del motor principal. El documento en cuestión se llama “Engine Room Dimensioning” y se incluye íntegro en el ANEXO 1 de este cuaderno.

3.1 Motor principal

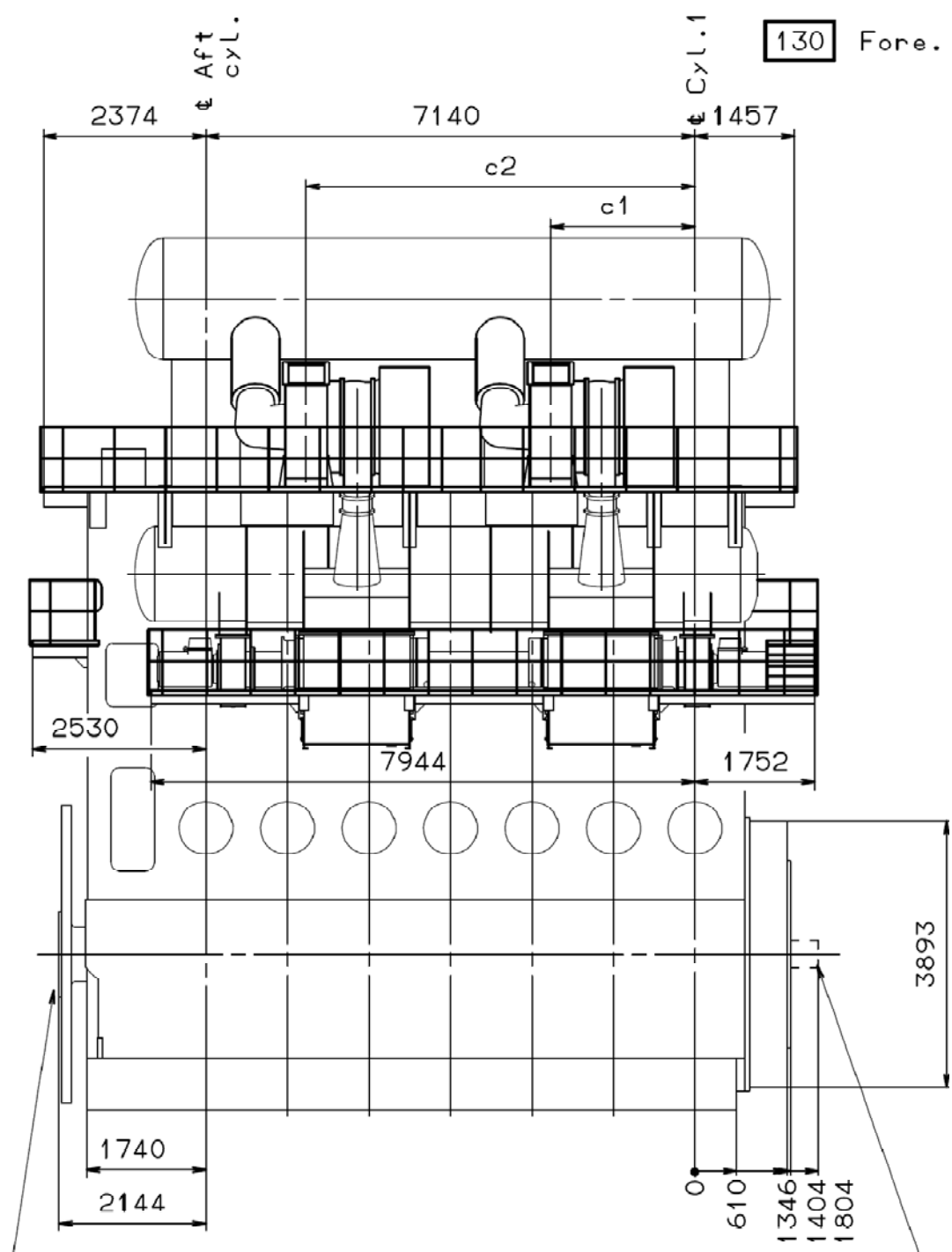
El motor seleccionado es el MAN B&W 7 S70MC-C7, cuyas características principales son las siguientes:

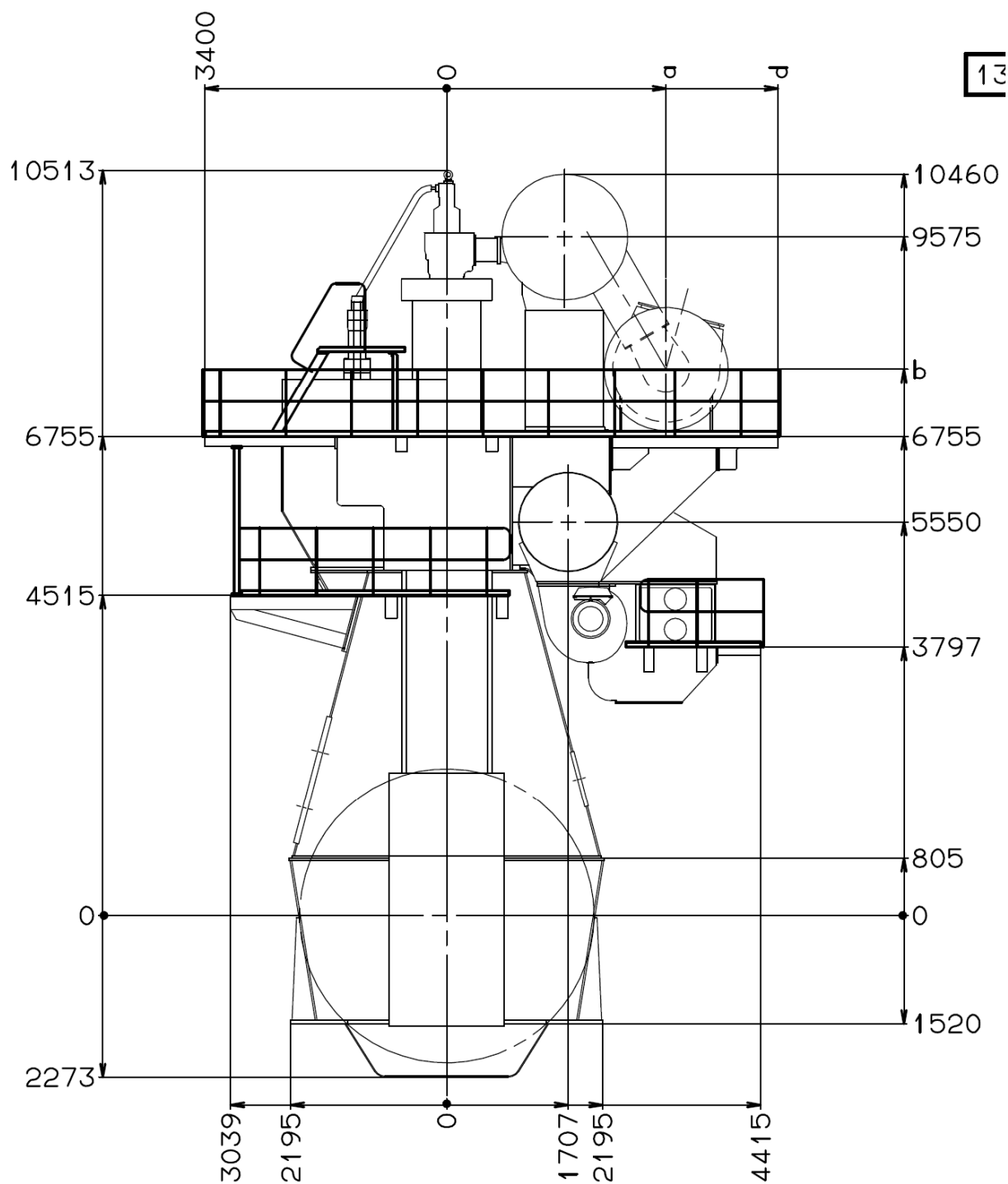
Potencia nominal	21.770 kW
Revoluciones nominales	91 r.p.m.
Número de cilindros	7
Consumo específico 100 % potencia	169 g/kWh
Consumo específico 80 % potencia	166 g/kWh
Presión media efectiva (punto óptimo)	19,0 bar
Velocidad media del pistón	8,5 m/s
Consumo específico de aceite	0,15 g/kWh
Consumo específico de aceite cilindros	0,70 g/kWh
Caudal de gases de exhaustación (p.o.)	195,3 kg/h
Temperatura de los gases de exhaustación	245 °C
Masa del motor seco	624.000 kg
Masa de agua con el motor en servicio	1.910 kg
Masa de aceite con el motor en servicio	2.440 kg

El punto de funcionamiento del motor en las condiciones de servicio es 19.285 kW a 89,3 r.p.m. (ello se detalla en Cuaderno 5 de proyecto) lo que corresponde a un régimen de potencia del 89% de la MCR que es el valor normal para esta clase de motores.

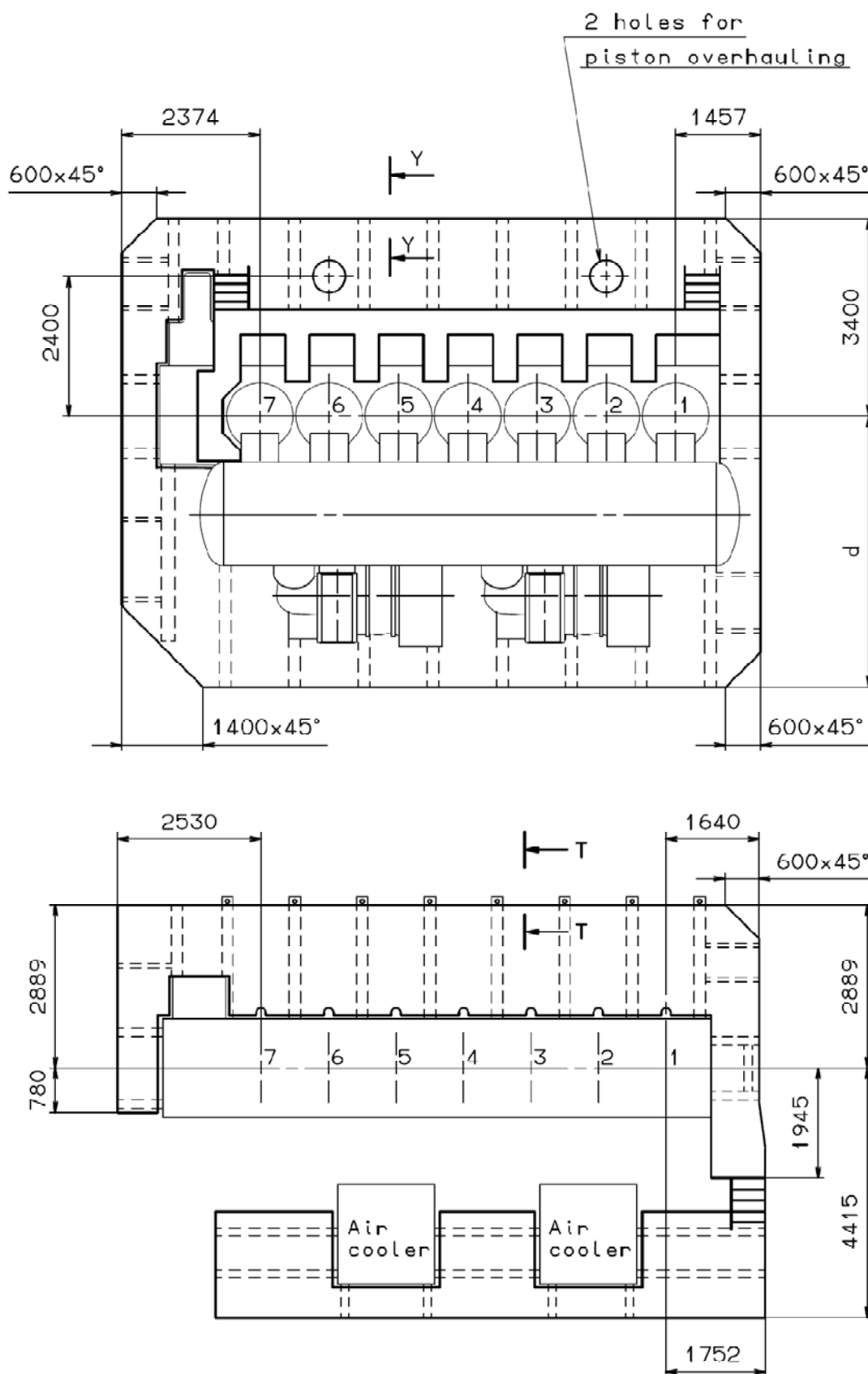
Además se especifica que deben instalarse grúas para llevar a cabo mantenimiento y reparaciones del motor por un lado y de las turbosopantes por otro. Los requerimientos de espacio se explican en el siguiente punto donde se procederá a situar el motor dentro de la cámara de máquinas.

Las siguientes imágenes muestran las dimensiones principales del motor:



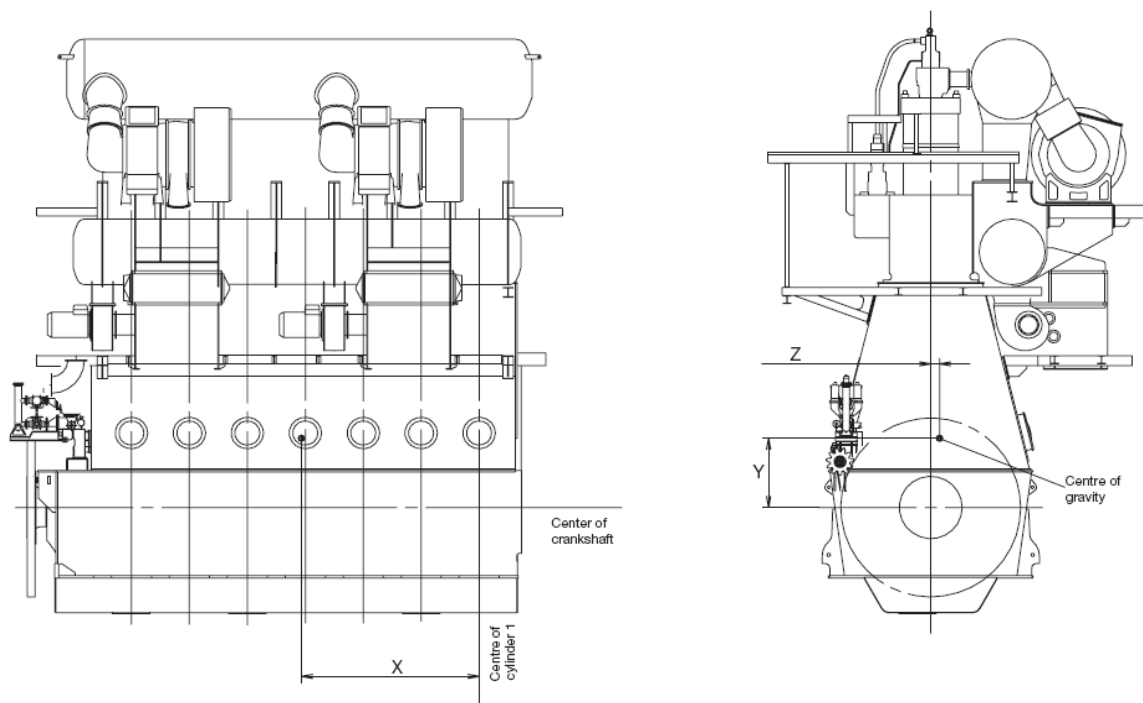


13





Respecto al centro de gravedad, tomando el siguiente sistema de referencia:



Es:

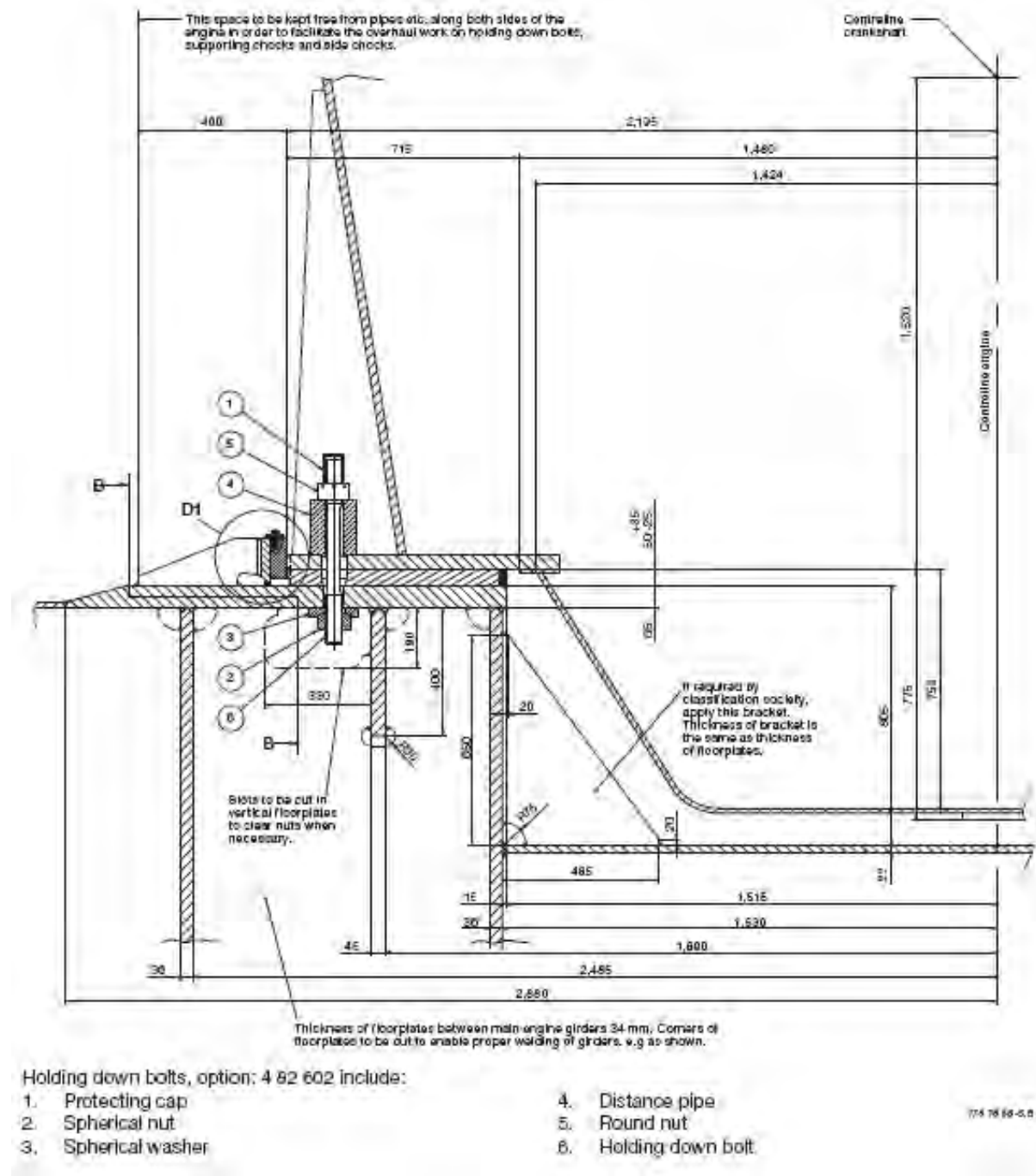
X	4.210 mm
Y	3.270 mm
Z	130 mm

3.2 Disposición en la cámara de máquinas del motor principal

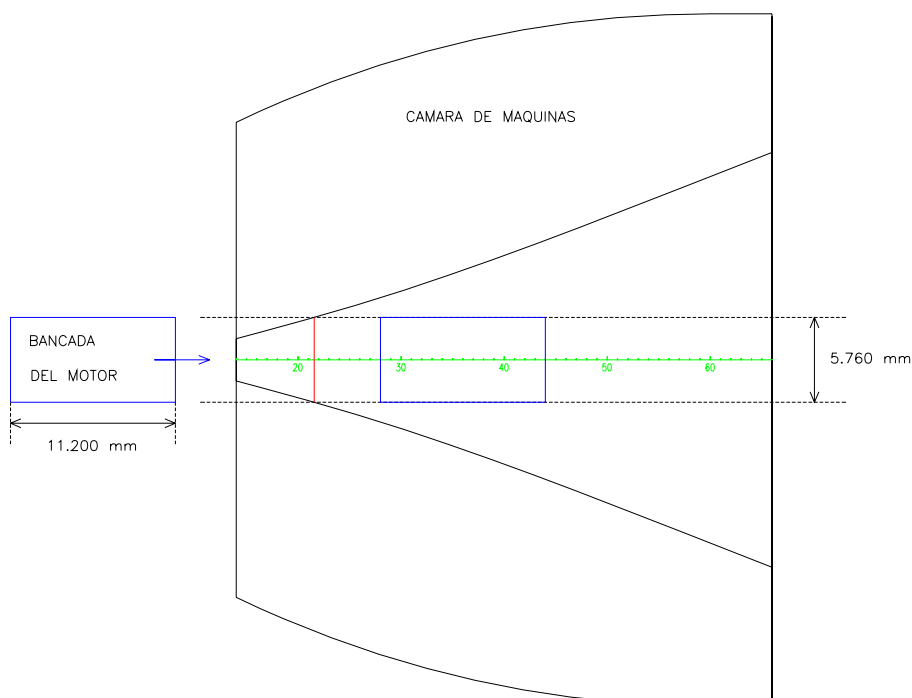
En este apartado se va a proceder a ubicar el motor principal dentro del espacio disponible en la cámara de máquinas. Como el motor va directamente acoplado a la hélice necesariamente debe situarse con su plano longitudinal en el plano de crujía del buque.

Además la altura a la que debe estar situado el motor también está condicionada por la altura del eje del propulsor, que es 4,37 metros. Como es lógico el cigüeñal del motor ha de estar alineado con el eje del propulsor, por lo que situando al motor de esta manera se encuentra con su punto más bajo a 2,10 metros de la línea de base y con su punto más alto a 14,83 metros de altura sobre la línea de base.

La altura del doble fondo en la cámara de máquinas es 2,60 metros, la misma que en la zona de carga, excepto en la zona de la bancada del motor que deberá ser menor para que sea posible la alineación del motor con el eje del cigüeñal. En el libro de especificación se detalla cómo ha de ser la bancada del motor, en la siguiente imagen se muestra un croquis de ello:

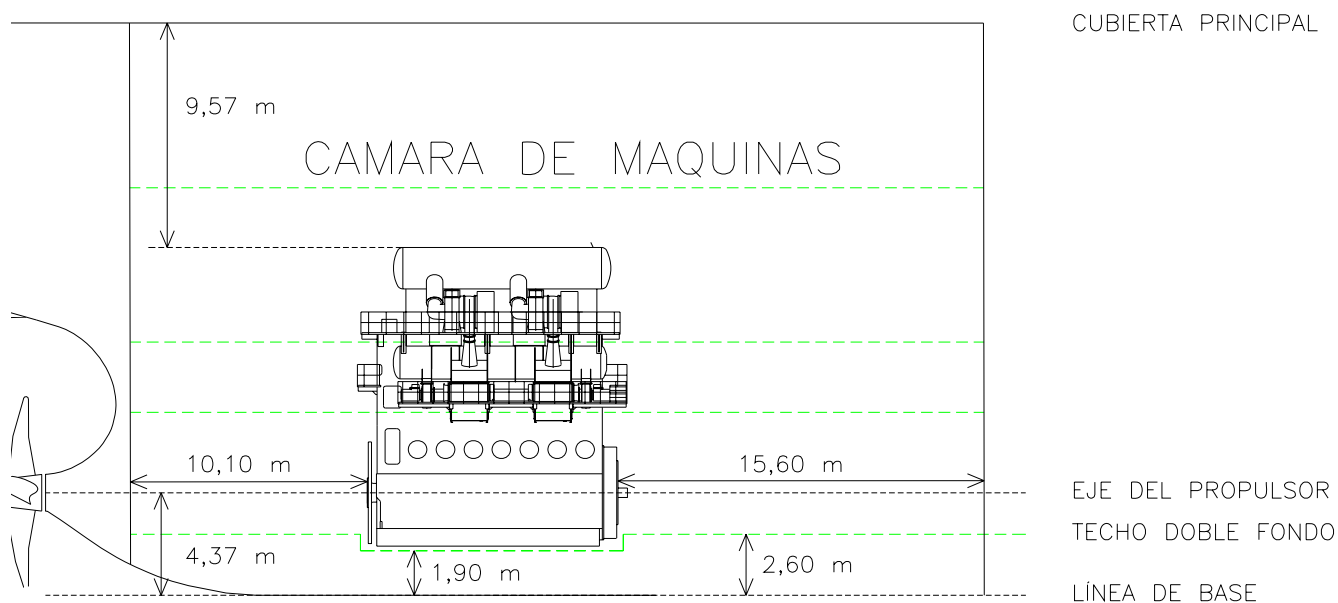


La medida de la bancada es 5.760 x 10.725 mm, para encajar la bancada entre un número de cuadernas entero se van a tomar las medidas 5.760 x 11.200 mm. Para situar dicha estructura en sentido longitudinal se tendrá en cuenta el espacio existente a la altura del doble fondo tal como se muestra en la imagen:



Después de este proceso se decide situar longitudinalmente la bancada del motor entre las cuadernas 28 y 44, situándose el motor con el punto más a popa del acoplamiento con el eje del propulsor a una abscisa de $x = 19,89$ metros (entre las cuadernas 28 y 29)

Con todo ello queda fijada la situación del motor principal en la cámara de máquinas tal como se muestra en la siguiente imagen:

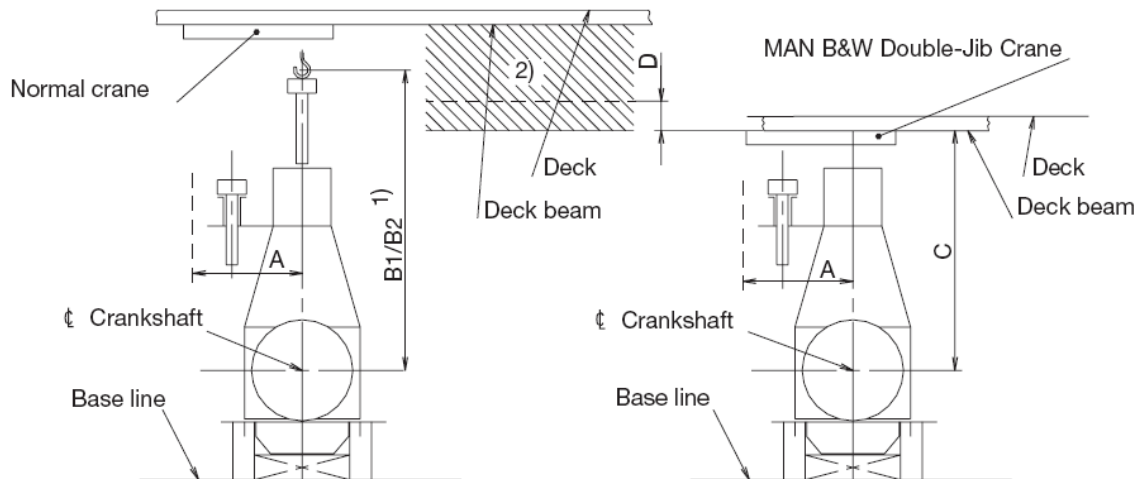




Con respecto a la instalación de la grúa para reparaciones y mantenimiento del motor, el fabricante ofrece dos posibles configuraciones:

- Grúa normal
- Grúa de doble brazo

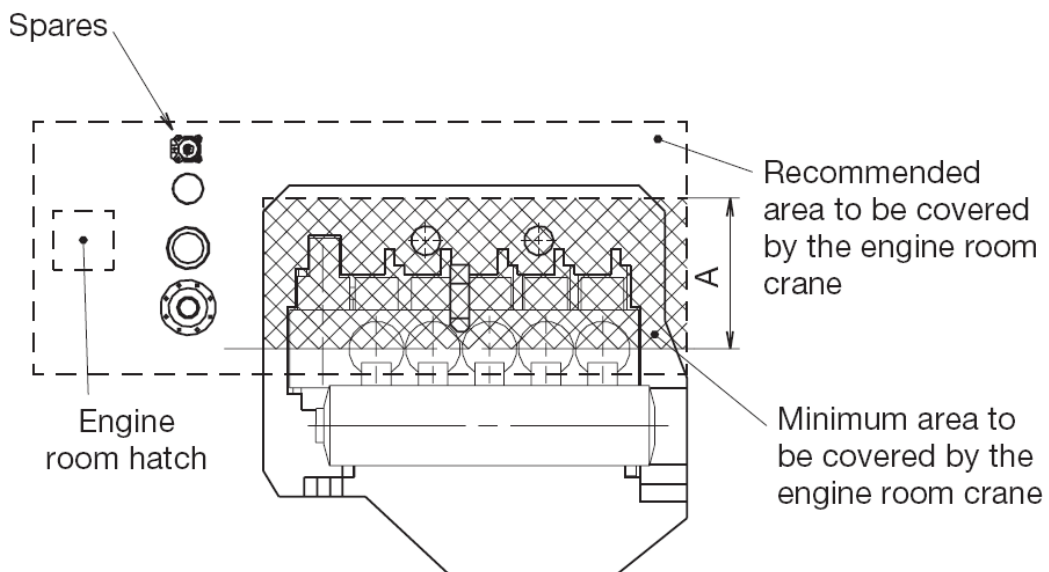
En la siguiente imagen pueden apreciarse estas dos opciones:



Como se dispone de altura suficiente en cámara de máquinas (21,7 metros descontando el doble fondo) se opta por la primera opción por ser más sencilla y por tanto de menor coste. Las distancias requeridas son:

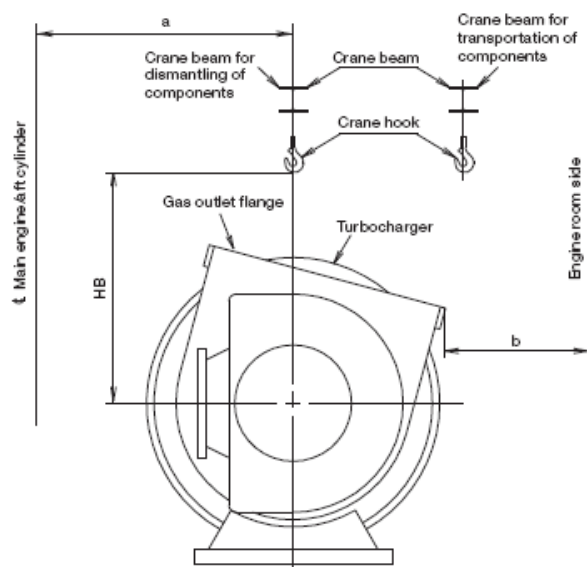
A	2.850 mm
B1/B2	12.475 mm

La capacidad de esta grúa debe ser de 6,30 toneladas y debe barrer el siguiente área mínima:





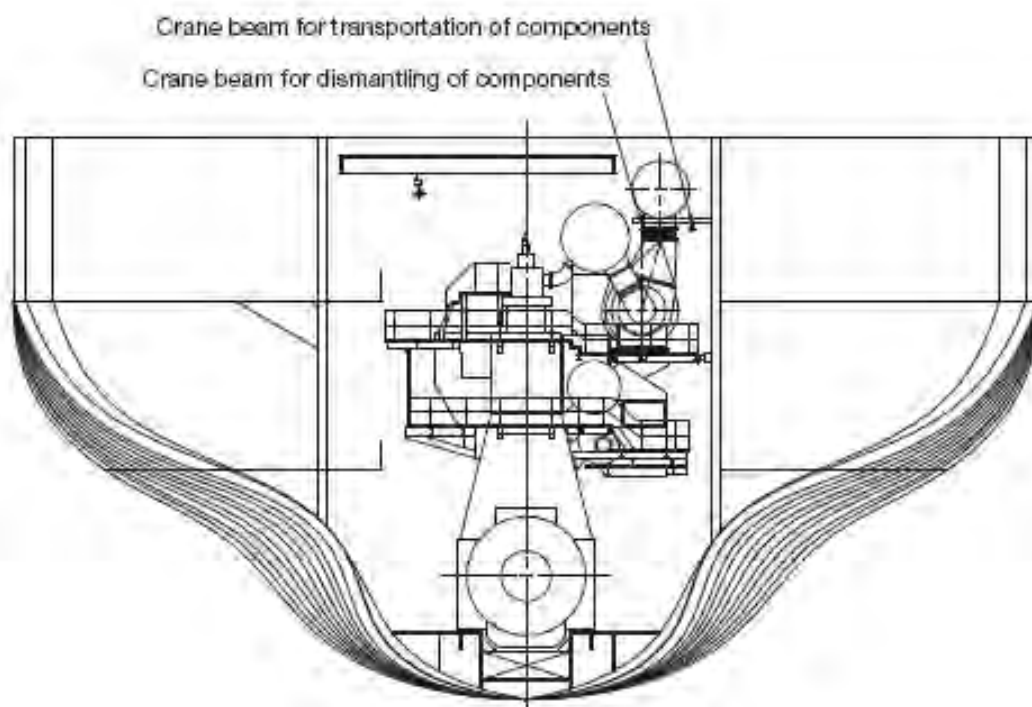
También es necesaria una grúa para el mantenimiento y reparación de los turbosoplantes del motor; los requisitos de instalación de esta grúa se muestran en el siguiente croquis:



Las distancias y capacidad requeridas son:

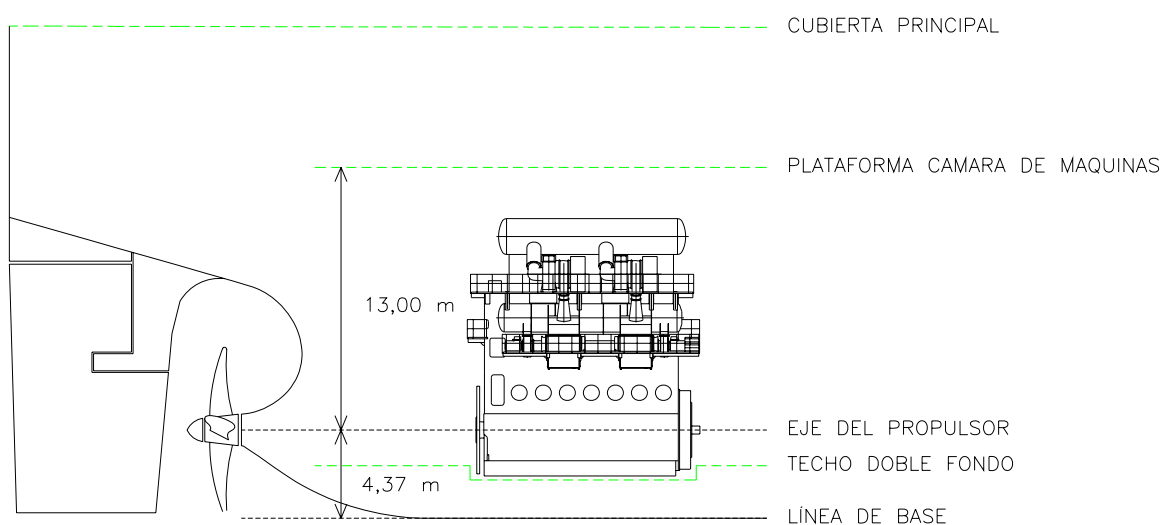
HB	1.800 mm
b	1.000 mm
Capacidad	2 toneladas

La disposición de estas grúas se aprecia en la siguiente vista frontal





La instalación de esta grúa va a condicionar la disposición de la cámara de máquinas puesto que es necesario fijar una de las plataformas que actúe como soporte de la grúa del motor. Puesto que la altura requerida desde el eje del cigüeñal del motor al gancho de la grúa en su posición más elevada son 12,48 metros se va a fijar una de las plataformas de la cámara de máquinas (que se denominará como tercera plataforma) a una altura de 13,00 metros desde el eje del cigüeñal del motor, lo que supone una altura sobre la línea base de 17,37 metros. Un esquema de la disposición resultante se muestra a continuación:

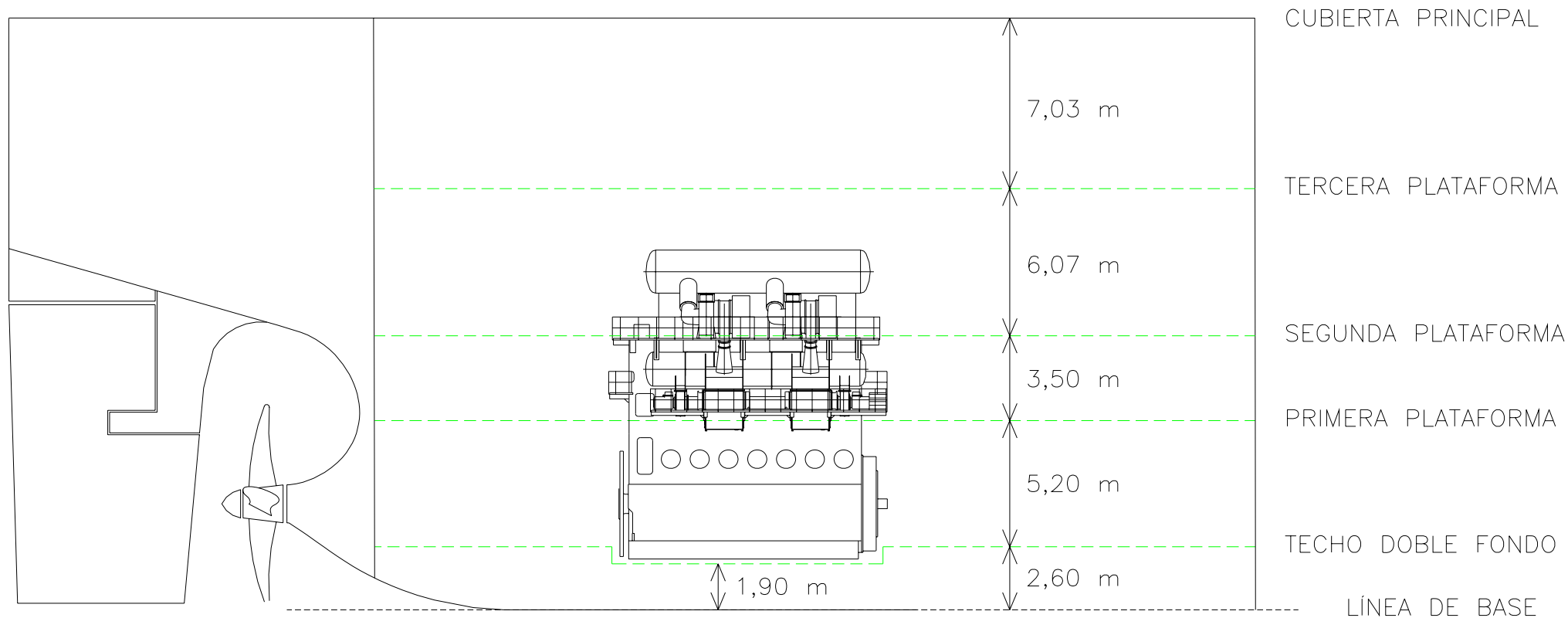


En base a lo anterior y a la situación del motor principal, se van a fijar otras dos plataformas más de cámara de máquinas por debajo de la que se acaba de definir a las siguientes alturas sobre la línea de base:

- Primera plataforma: 7,80 metros, lo que da lugar a una altura libre entre el doble fondo y esta plataforma de 5,20 metros.
- Segunda plataforma: 11,30 metros, lo que da lugar a una altura libre entre ésta y la primera plataforma de 3,50 metros.

Esta disposición de cámara de máquinas es la habitual para la clase y el tamaño del buque proyecto.

La siguiente imagen muestra un croquis de la disposición resultante de cámara de máquinas tras asumir todas las consideraciones referidas en los párrafos anteriores:



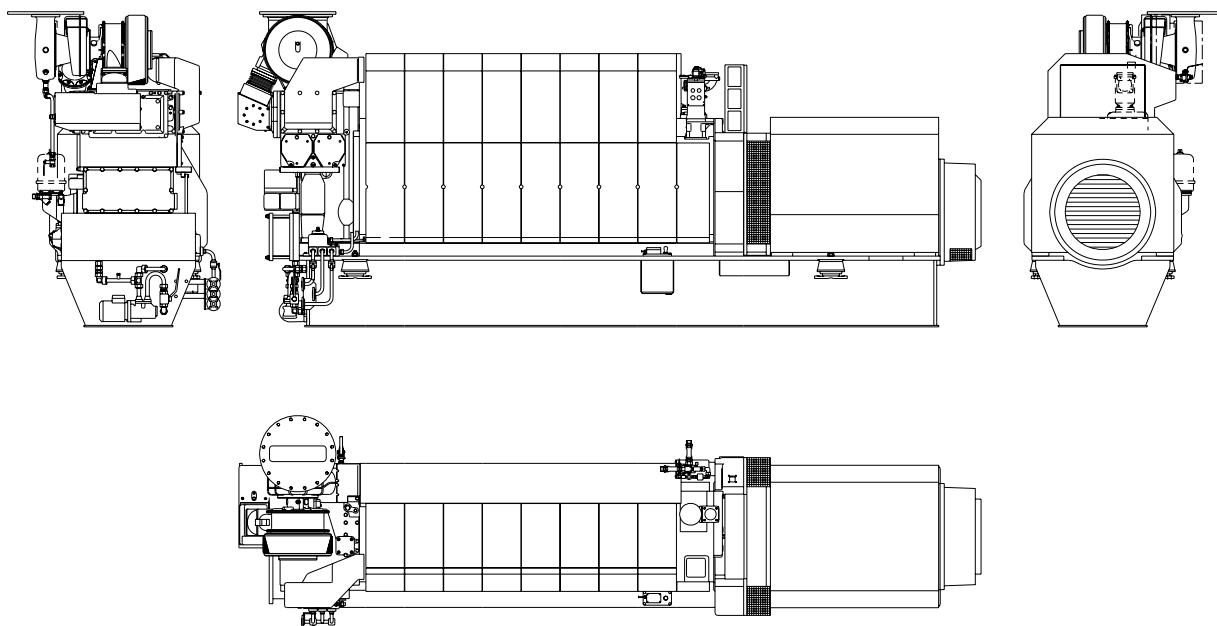


4 GRUPOS GENERADORES DE ENERGÍA ELÉCTRICA

En el Cuaderno 11 se ha definido la planta eléctrica del buque, como consecuencia del balance eléctrico se decidió instalar a bordo tres grupos generadores con las siguientes características:

MAN modelo 8L16/24	
Potencia del motor diesel	880 kW
Potencia de salida del generador eléctrico	835 kWe
Consumo de combustible	242,4 kg/h
Consumo de aceite	0,32 – 0,64 kg/h
Número de cilindros	8
Peso sin líquidos	12,4 t
Revoluciones	1.200 rpm
Presión media efectiva	22,4 bar
Velocidad del pistón	9,6 m/s
Diámetro cilindros	160 mm
Carrera	240 mm
Eslora	5,26 m
Manga	1,41 m
Altura	2,26 m

Unas imágenes de estos equipos se muestran a continuación:





Además se instala un generador de emergencia con las siguientes características generales:

VOLVO PENTA modelo 8L16/24	
Potencia del motor diesel	326 kW
Potencia de salida del generador eléctrico	303 kW _e
Peso sin líquidos	2,8 t
Revoluciones	1.800 rpm
Cilindrada	9,36 l
Número de cilindros	6
Diámetro cilindros	120 mm
Carrera	138 mm
Eslora	5,26 m
Manga	1,41 m
Altura	2,26

Una imagen de este equipo es la siguiente:





5 CALDERAS

El buque contará con tres calderas para la generación de vapor:

- Caldereta de gases de escape, la cual por imposiciones de la especificación del proyecto debe ser mixta incorporando un sistema de mecheros para las situaciones en que no puedan usarse los gases de escape del motor principal. Esta caldereta se ha dimensionado en el punto 7.7.1. y tiene una capacidad de generación de vapor de 3.696,5 kg_{vapor}/h.
- Dos calderas principales, las cuales deben tener una capacidad de generación de vapor a 7 kgf/cm² de 42.000 kg_{vapor}/h (Ver balance de vapor punto 7.11 de este documento).

La caldereta de los gases de escape se sitúa en la superestructura del guardacalor y la chimenea y las calderas principales en la tercera plataforma de la cámara de máquinas a popa y en el costado de estribor.

En este punto se van a dimensionar los equipos principales del circuito de vapor y agua dulce de estas calderas que son el condensador y la bomba de circulación de agua.

Condensadores

Se supone que son condensadores de superficie refrigerados por agua salada (excepto el de la caldereta de gases de escape que es por agua dulce), la extracción de los gases incondensables se realiza por medio de válvulas especiales.

El calor a retirar de los condensadores se calcula por la expresión:

$$q = Q_{MV} \cdot (h_{\text{vapor}} - h_{\text{Líquido}})$$

Donde para el vapor que se genera en la planta (7 kgf /cm²) se tiene que $h_{\text{vapor}} = 659,9$ kcal/kg y $h_{\text{Líquido}} = 165,7$ kcal/kg, además el proceso se lleva a cabo a la temperatura de saturación del vapor que a esta presión es de 164,2 °C. Por tanto, el calor máximo a retirar de cada condensador es:

- Caldereta gases de escape: **1.826.810 kcal/h.**
- Calderas principales: **20.756.400 kcal/h** en cada condensador.

La refrigeración de la caldereta se hace mediante el sistema de refrigeración central (Definido el punto 7.3), los de las calderas principales se hacen mediante agua salada al igual que los condensadores de las turbinas que accionan las turbobombas de carga la potencia de estas bombas de agua salda se estima en **150 kW**.

Bombas de alimentación de calderas

Estas bombas tienen como misión principal suministrar el agua a evaporar a la caldera a su presión de trabajo, el caudal de agua se toma igual a la capacidad de generación de vapor y la presión 8,5 kgf/cm² para compensar las pérdidas que se producen en el sistema. Suponiendo que las bombas son de accionamiento eléctrico con un rendimiento total de 0,6 su potencia nominal es:



- Caldereta:

$$P = \frac{Q \cdot P}{\eta} = \frac{3,70}{3.600} \cdot 8,5 \cdot 98.000 = 1,43 \text{ kW}$$

- Calderas principales

$$P = \frac{Q \cdot P}{\eta} = \frac{42,0}{3.600} \cdot 8,5 \cdot 98.000 = 16,20 \text{ kW}$$

Consumos de combustible

Para calcular el consumo de las calderas principales, en primer lugar se obtiene la energía necesaria para transformar el agua en vapor, suponiendo que ésta entra a 70 °C de media:

$$q = 42.000 \cdot (659,9 - 70,0) = 24.775.800 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

Suponiendo un poder calorífico del combustible de 8.000 kcal/kg y una eficiencia de la caldera de 0,9, el consumo de cada caldera trabajando a su máxima capacidad es:

$$C = \frac{24.775.800}{8.000 \cdot 0,9} = 3.441 \frac{\text{kg}_{\text{Combustible}}}{\text{h}}$$

Siguiendo el mismo proceso con la caldereta cuando debe funcionar con mecheros, se obtiene un consumo de:

$$C = \frac{3.696,5 \cdot (659,9 - 70,0)}{8.000 \cdot 0,9} = 303 \frac{\text{kg}_{\text{Combustible}}}{\text{h}}$$



6 ELECCIÓN DEL TIPO DE COMBUSTIBLE

El buque llevará dos tipos de combustible:

- Fuel pesado (HFO) para ser utilizado en todas las condiciones de servicio del buque.
- Combustible diesel (MDO): se utiliza en los arranques y paradas de los distintos consumidores.

Los consumidores de combustible en el buque proyecto son de tres tipos:

- Motor principal
- Grupos generadores de energía eléctrica
- Calderas (generadores de vapor)

La capacidad total de combustible que se debe llevar a bordo está impuesta por especificación y es 3.900 m³; esta capacidad se dividirá en:

- 90 % de Fuel pesado 3.510 m³
- 10 % de diesel 390 m³.

La elección de cada tipo se justifica a continuación:

6.1 Fuel pesado (HFO)

Con respecto al combustible pesado, la especificación del proyecto requiere que el buque lleve 3 tipos de combustible en función de su contenido de azufre.

- Tipo 1: Contenido en azufre menor de 4,5 % en masa
- Tipo 2: Contenido en azufre menor de 1,5 % en masa
- Tipo 3: Contenido en azufre menor de 0,1 % en masa

Esto va en relación con el cumplimiento de lo establecido en:

- Anexo VI de MARPOL (Regla 14) con respecto a la limitación del contenido de azufre del fuel pesado de los buques, en el que se establece la utilización obligatoria de los tipos 1 y 2, éste último para las zonas designadas de control de emisiones de SOx (zonas SECA).
- Directiva 2005/33/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 6 de Julio de 2005, en lo relativo al contenido de azufre para uso marítimo, establece que en 2010 el máximo admisible de contenido en azufre para los combustibles empleados en buques con navegación interior o buques atracados en puertos comunitarios un tiempo superior a 2 horas será de 0,1 % en masa (Tipo 3).

A continuación se van a describir los requerimientos de HFO de cada uno de los consumidores que tiene el buque, para una vez analizados decidir uno que cumpla con todos ellos.



Motor principal

Los requerimientos del fabricante del motor principal con respecto al combustible pesado es un fuel con una viscosidad máxima de 700 cSt a 50 °C (7.000 sec. Redwood I a 100 °F) que sea acorde con las normas ISO 8217:1996 y 8217:2005. Además debe cumplir con los siguientes requerimientos:

Densidad a 15 °C	$\leq 1.010 \text{ kg/m}^3$
Viscosidad cinemática A 100 °C A 50 °C	$\leq 55 \text{ cSt}$ $\leq 700 \text{ cSt}$
Flash point	$\leq 60 \text{ °C}$
Punto de fluidificación	$\leq 30 \text{ °C}$
Residuo de carbono	$\leq 22,00 \text{ \% en masa}$
Ceniza	$\leq 0,15 \text{ \% en masa}$
Sedimentos totales	$\leq 0,10 \text{ \% en masa}$
Agua	$\leq 0,50 \text{ \% en volumen}$
Azufre	$\leq 4,50 \text{ \% en masa}$
Vanadio	$\leq 600 \text{ mg/kg}$
Aluminio + Silicio	$\leq 80 \text{ mg/kg}$

Grupos generadores

El fabricante de los grupos generadores impone los siguientes requerimientos para el combustible pesado: 730 cSt/50°C – 7.200 sR1/100°F ISO 8217-F.RMK 700.

Este es un criterio menos exigente que el impuesto por el fabricante del motor principal en cuanto a requisitos de viscosidad.

Calderas

En cuanto a las calderas no imponen ningún requisito con respecto a las características del fuel pesado puesto que pueden quemar cualquier tipo de combustible.

En base a todo ello se selecciona un combustible tipo HFO 700 que cumple con los requisitos de viscosidad impuestos. Se tomará para los cálculos una densidad de 1.010 kg/m^3 .

La capacidad de fuel pesado es de 3.510 m^3 (3.545 toneladas) esta cantidad se debe dividir en los tres tipos de fuel pesado que debe llevar el buque a bordo:

- Tipo 1: 80 % de la capacidad de HFO, 2.836 m^3 (2.864 toneladas)
- Tipo 2: 15 % de la capacidad de HFO, 532 m^3 (537 toneladas)
- Tipo 3: 5 % de la capacidad de HFO, 177 m^3 (179 toneladas)



Debido a la disparidad de combustibles (viscosidad variable desde 2 a 700 cSt) debe disponerse antes del sistema de preparación de combustible un enfriador para controlar la viscosidad del combustible. Ello es obligatorio por IMO, EU y USCG.

6.2 Combustible diesel (MDO)

Como se ha dicho anteriormente el combustible ligero se emplea en las paradas de los sistemas para limpiar los conductos y tuberías, pues de otra forma sería necesario mantener circulación y calefacción durante el tiempo de parada de los equipos.

Motor principal

Los requerimientos del fabricante del motor principal a este respecto es que el combustible seleccionado debe cumplir con la norma ISO 8217 (Class DMB) y con "British Standard 6843 (Class DMB)".

Grupos generadores

El único requerimiento que impone el fabricante es, como en el caso del motor principal, el cumplimiento de la norma ISO 8217

Se debe procurar siempre cargar un combustible diesel cuyas características cumplan con lo anteriormente referido, para los cálculos se tomará una densidad de 900 kg/m^3



7 SERVICIOS Y EQUIPOS EN CÁMARA DE MÁQUINAS

En este punto se van a describir detalladamente los distintos sistemas que de una manera u otra están realacionados con la cámara de máquinas del buque, que son los siguientes:

- Servicio de combustible
- Servicio de lubricación
- Servicio de refrigeración
- Servicio de lastre
- Servicio de aire comprimido
- Servicio de exhaustación de los gases de escape
- Servicios de la carga
- Sistemas de contraincendios
- Ventilación y extracción de cámara de máquinas
- Servicios de habilitación
- Servicios ecológicos
- Planta de vapor
- Línea de ejes

7.1 Servicio de combustible

La fuente de energía primaria del buque son los combustibles líquidos derivados del petróleo, como se indicó anteriormente, estos combustibles pueden agruparse en dos categorías:

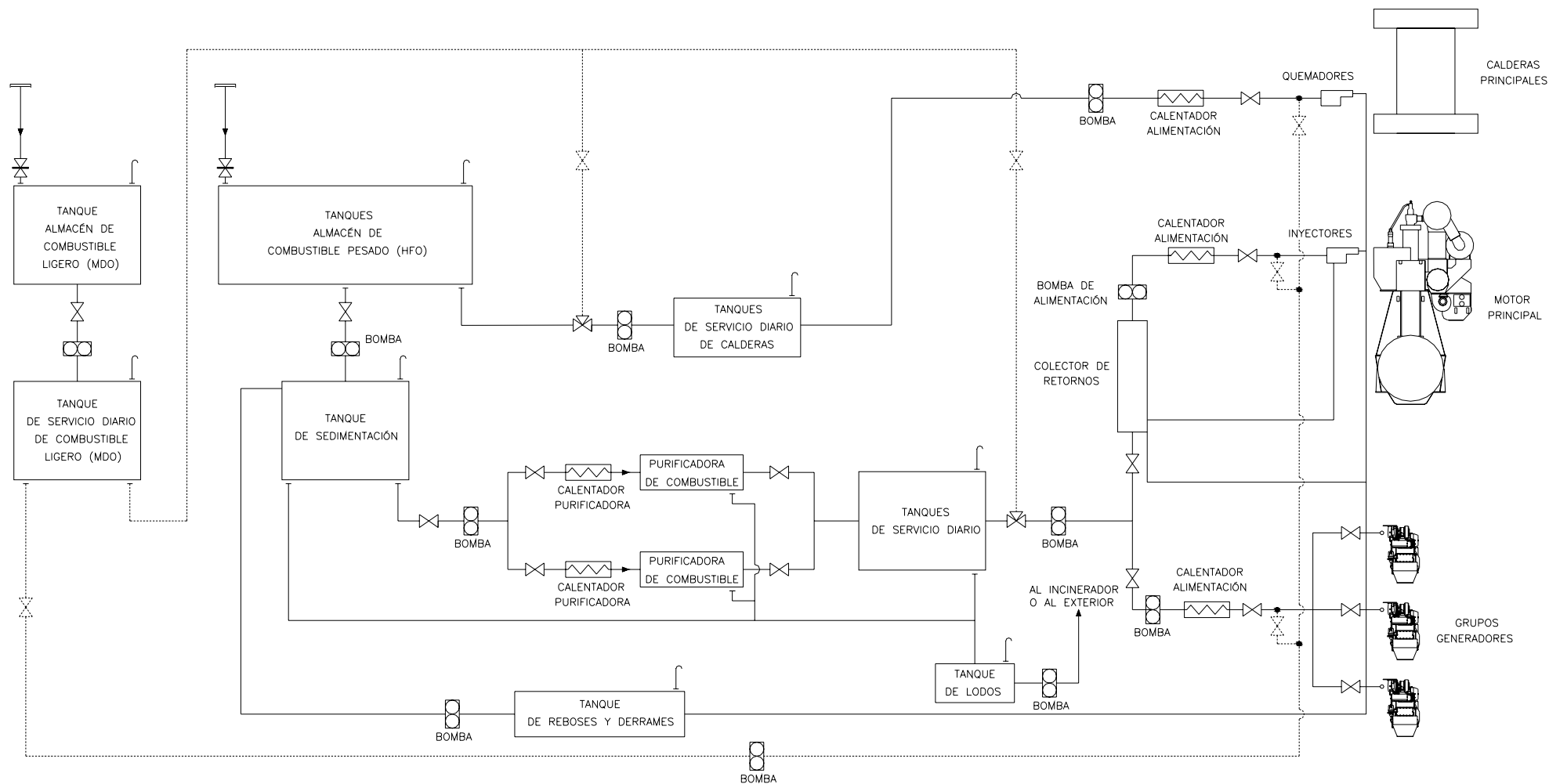
- Combustibles destilados, que para este caso será Marine Diesel Oil (MDO).
- Combustibles pesados o residuales (HFO).

Los consumidores de combustible a bordo del buque proyecto son los siguientes:

- Motor principal
- Calderas principales
- Grupos generadores de electricidad (motores auxiliares)

El MDO solo se usa en el proceso de arranque de los consumidores, y también en el de parada para limpiar el circuito y evitar que queden en él restos de combustible pesado que podrían obstruirlo.

En la siguiente página se muestra un esquema completo del sistema de combustible del buque donde se muestran sus principales elementos. En los siguientes puntos se describirá el sistema y se dimensionarán todos sus componentes y equipos.





7.1.1 Sistema de combustible pesado (HFO)

El sistema de combustible pesado a bordo se puede dividir en tres subsistemas que son:

- Sistema de recepción, almacenamiento y trasiego: El combustible se recibe a bordo bombeado desde el muelle, terminal de petróleo o buque de suministro, y es almacenado en los distintos tanques del sistema. Como se indicó en el punto 6 es necesario llevar a bordo 3 tipos distintos de combustible por lo que se dispondrá un número de tanques de almacenamiento suficiente para que los combustibles con distinto contenido en azufre no se puedan mezclar antes de ser consumidos. Las características de los distintos tanques del sistema se resumen a continuación:
 - Tanques almacén: En ellos se debe calentar el combustible manteniendo su temperatura unos 15/20 grados por encima de la temperatura de goteo, que se toma igual a 48 °C.
 - Tanques de sedimentación. Es recomendable que estos tanques sean altos, la temperatura en su interior se debe mantener en unos 75 °C. Los componentes más pesados del combustible se van depositando en el fondo del tanque y son retirados para llevarlos al tanque de lodos.
 - Tanques de servicio diario: Estos tanques también necesitan estar calefactados para mantener una temperatura unos 15 °C menor que la de inyección (igual a 134 °C la cual se obtiene del diagrama viscosidad-temperatura para una viscosidad indicada por el fabricante de 20 cSt). Por tanto la temperatura a mantener en este tanque son 120 °C.
El tanque de servicio diario de calderas recibe el combustible directamente desde los tanques almacén. En este tanque la temperatura debe mantenerse en el entorno de los 75 °C.
 - Colector de retornos (motor principal): En este tanque se va mezclando el combustible que llega desde el tanque de servicio diario con el combustible que sobra del proceso de inyección. Dispone de calentador pero solo funciona hasta que el motor se pone a régimen.
 - Tanque de reboses y derrames: Como el contenido de este tanque se descarga al tanque de sedimentación, su temperatura se mantendrá 5 °C por encima de éste, lo que resulta 80 °C.
 - Tanque de lodos: La temperatura de los lodos se mantiene a 60 °C para que estos puedan ser bombeados al exterior del buque o al incinerador.

El calentamiento del combustible en todos estos tanques se realiza a través de serpentines que son alimentados por la planta de vapor del buque, Las bombas de trasiego del sistema se dimensionarán en el siguiente apartado.

- Sistema de limpieza y/o tratamiento: Los combustibles pesados tienen en general muchas impurezas y contenidos en agua que pueden llegar hasta el 1 %.

El tratamiento empieza en el tanque de sedimentación mediante una decantación, este tanque se llena rápidamente y se deja su contenido en reposo hasta que pasa a los tanques de servicio diario. Los lodos retirados del fondo del tanque se van enviando al tanque de lodos del sistema. En los tanques de servicio diario se realiza el mismo proceso.



A la salida del tanque de sedimentación el combustible se somete a un proceso de depuración en una planta de purificación de combustible, este proceso ha de realizarse a una temperatura de 100 °C, por lo que habrá que calentar el combustible procedente del tanque de sedimentación hasta esta temperatura. Estas plantas se disponen por duplicado con objeto de que haya una de respeto y se montan en paralelo tratando cada una de ellas, en situación normal, la mitad del caudal necesario.

Además, se disponen filtros a la entrada del circuito de inyección del motor principal y de los motores auxiliares, así como antes de los quemadores de las calderas. Estos filtros serán de limpieza automática.

- Sistema de alimentación: El combustible contenido en los tanques de servicio diario reúne las condiciones necesarias para su consumo en el motor. Las características que quedan por ajustar son el caudal, la presión y la viscosidad a la entrada de los inyectores del motor principal y de los motores auxiliares. Estas características vienen fijadas por los fabricantes de ambos equipos y son:

Motor principal	
Caudal	5,4 m ³ /h
Presión	16 bar
Viscosidad	20 cSt

Motores auxiliares	
Caudal unitario	0,72 m ³ /h
Presión	12 bar
Viscosidad	20 cSt

El sistema de alimentación del motor principal consta de un circuito con los siguientes elementos:

- Colector de retornos
- Calentador de combustible
- Bomba de alimentación
- Inyectores

Para el sistema de alimentación de calderas se supone una temperatura de inyección de 100 °C y una presión de 5 bar, el consumo máximo de cada una de ellas es 2,92 m³/h.

Dimensionamiento y disposición a bordo de los tanques del sistema

El convenio MARPOL en su Anexo I – Capítulo 3 – Regla 12 A, con respecto a la protección de tanques de combustible líquido, la cual es aplicable a buques con una capacidad total de combustible igual o superior a 600 m³, se establecen los siguientes requerimientos:



- La capacidad de cada tanque no puede ser superior a 2.500 m³.
- Los tanques deben estar separados de las planchas del forro del fondo casco al menos una altura igual a $B/20 = 2,35$ o bien 2,00 metros si este valor es menor.
- Los tanques de combustible irán dispuestos de forma que su distancia al forro "w" en cualquier sección transversal sea mayor o igual que:

$$w = 0,5 + \frac{V_{\text{Combustible}}}{20.000} = 0,695 \text{ m}$$

Este valor no puede ser inferior a 1 metro con lo que se adopta éste último valor.

Por tanto, los tanques de combustible deben estar dispuestos a una altura mínima de 2 metros del fondo del buque y a 1 metro de las planchas de costado y pantoque.

A continuación se procede al dimensionado y disposición de los tanques de combustible dentro de la cámara de máquinas.

Tanques de servicio diario de calderas principales: Como el consumo unitario de las calderas principales es 3,41 m³/h. Para una autonomía de 24 horas se disponen dos tanques de de servicio diario con una capacidad de **82,8 m³**. El tanque se sitúa en el costado de estribor a popa de los tanques de almacenamiento de HFO.

Tanques de servicio diario de motor principal y auxiliares: Se disponen dos tanques de este tipo que se dimensionan de modo que den autonomía al motor principal durante 24 horas. Como el consumo específico de combustible al 100 % de potencia es 169 g/kW h la capacidad de estos tanques "V_T" debe ser:

$$V_{SD} = \frac{C_{Esp} \cdot P_{max}}{\rho} \cdot 24 = \frac{169}{1.010} \cdot 21.770 \cdot 24 = 87,4 \text{ m}^3$$

Dando un margen de un 10 % a esta capacidad por la acumulación de lodos en el fondo de los tanques queda una capacidad por tanque de **96,4 m³**. Ambos tanques se sitúan entre la segunda y tercera plataforma, a proa del motor principal y en el costado de babor.

Tanque de sedimentación: Se dispone un tanque para esta función con la misma capacidad que los de servicio diario pero con un 5 % adicional de margen con lo cual su capacidad es de **101,9 m³**. El tanque se dispone entre la tercera plataforma y la cubierta principal y en el costado de babor.

Tanques de almacén: La capacidad de combustible pesado resultante de restar a la capacidad total la de los tanques de servicio diario y sedimentación debe ser alojada en los tanques de almacén:

$$V_{Almacén} = 3.510,0 - 2 \cdot 96,1 - 101,9 - 2 \cdot 81,8 = 3.052,2 \text{ m}^3$$

Esta capacidad se divide en los siguientes tanques:



- Tanque almacén 1: con capacidad de **177,0 m³** para alojar el combustible pesado con un contenido en azufre menor del 0,1 % en masa. El tanque se ha situado en la tercera plataforma de cámara de máquinas, en el costado de estribor y a proa de la cámara de máquinas.
- Tanque almacén 2: con capacidad de **532,0 m³** para alojar el combustible pesado con un contenido en azufre menor del 1,5 % en masa. El tanque se sitúa en el costado de babor entre la cubierta principal y la segunda plataforma y a proa de la cámara de máquinas.
- Tanques almacén 3 y 4: con capacidad unitaria de **1.172,4 m³** para alojar el combustible pesado con un contenido en azufre menor del 4,5 % en masa. Están situados a popa del cofferdam que separa la cámara de máquinas de la zona de carga y dispuestos simétricamente respecto a crujía en cada costado, se extienden desde el suelo de la cámara de máquinas (techo doble fondo) hasta la cubierta principal.

Colector de retornos (motor propulsor): En el colector de retornos se descarga el combustible sobrante de los inyectores y del tanque de servicio diario. La capacidad de este tanque es el consumo de combustible durante 20 minutos del motor principal de funcionamiento lo que supone un volumen de **1,2 m³**.

Tanque de reboses y derrames: Como su propio nombre indica, este tanque recoge los derrames y reboses de los distintos tanques y elementos del sistema de combustible pesado del buque. Su capacidad se estima como el combustible necesario para abastecer al motor principal durante 6 horas a la máxima potencia. Atendiendo a este criterio su capacidad ha de ser de **23,1 m³**. El tanque está situado en el doble fondo de la cámara de máquinas, en la zona de proa cumpliendo con las distancias al forro del casco requeridas por la Regla 12 A de MARPOL.

Tanque de lodos: Este tanque recibe los lodos provenientes del tanque de sedimentación y de servicio diario así como los resultantes del proceso de depuración de combustible. Su capacidad está regulada por MARPOL (Anexo I), se especifica que la capacidad mínima ha de ser:

$$V_{\text{Lodos}}(\text{m}^3) = K_1 \cdot C \cdot D$$

Donde:

- “K₁” es un coeficiente igual a 0,015 puesto que se trata de un buque con proceso de depuración de combustible.
- “C” es el consumo diario de fuel oil en m³, en este caso es 87,4 m³.
- “D” es la duración máxima del viaje en días del buque entre puertos en que se puedan descargar los fangos a tierra. A falta de una cifra exacta se toman 30 días para este parámetro.

Con ello, el volumen requerido del tanque de lodos es:

$$V_{\text{Lodos}}(\text{m}^3) = 0,015 \cdot 87,4 \cdot 30 = \mathbf{39,3 \text{ m}^3}$$

En base a ello se dispone un tanque de lodos en el doble fondo con una capacidad total de **41,9 m³** situado a proa de la bancada del motor principal (costado de babor).



Dimensionamiento de los equipos del sistema

Todos los equipos que se van a dimensionar a continuación deben instalarse por duplicado para que se pueda seguir operando normalmente en caso de fallo de uno de ellos.

Sistemas de calefacción del combustible

Para definir la cantidad de vapor que requiere cada uno de los servicios de calentamiento de combustible del sistema se van imponer los siguientes criterios:

- El calor específico del combustible se tomará constante con la temperatura e igual a 0,5 kcal/kg °C, su densidad como se ha comentado anteriormente se tomará igual a 1.010 kg/m³.
- El calor a suministrar a cada servicio se va a dividir en dos sumandos:
 - “q₁” es el calor necesario para levantar la temperatura del combustible se calcula a través de la siguiente expresión:

$$q_1 = Q_{HFO} \cdot \rho_{HFO} \cdot c_{eHFO} \cdot (T_{Final} - T_{In})$$

- “q₂” es el calor necesario para mantener esa temperatura dentro del tanque o servicio de que se trate. Para simplificar los cálculos se tomará este calor como el 25% de “q₁”.
- El caudal de vapor necesario “Q_{MV}” en cada caso se estima a través de la siguiente expresión:

$$Q_{MV} = \frac{q}{r \cdot \eta}$$

Donde “r” es el calor de vaporización del vapor a la presión de trabajo de la planta (7 kgf/cm²) que vale 494 ,2 kcal/kg_v, y “η” es el rendimiento del proceso que se toma igual a 0,9.

Las consideraciones para cada consumidor son:

- Tanques almacén: Se dimensionan los serpentines para que sean capaces de levantar en 24 horas la temperatura de su contenido desde la temperatura ambiente, que en cámara de máquinas se toma igual a 20 °C hasta su temperatura final en este tanque que es 48°C. La capacidad total de HFO en estos tanques es de 3.053,8 m³ repartida en 4 tanques, los serpentines no actuarán todos al mismo tiempo sino que irán entrando en servicio cuando se requiera el contenido de cada tanque.
- Tanque de sedimentación: El tiempo para levantar la temperatura del tanque es de 12 horas que es el tiempo que se da para realizar la decantación hasta que el contenido de este tanque empiece a depurarse.
- Calentador depuradora de combustible pesado: El tiempo que se tiene para depurar son 12 horas, por tanto el precalentador debe calentar hasta los 100 °C el contenido total del tanque de sedimentación, lo que resulta un caudal de 8,5 m³/h.
- Tanques de servicio diario del motor principal y de los auxiliares: El tiempo requerido para llevar a cabo el calentamiento desde 90 a 120 °C son 24 horas que es lo que tardará el otro tanque de servicio diario en vaciarse, sin embargo para tener un cierto margen se reduce este tiempo a 15 horas.



- Tanques de servicio diario de calderas: Se toma un tiempo de calentamiento corto e igual a 6 horas ya que ambos tanques pueden estar en servicio a la vez.
- Colector de retorno: debe mantener la temperatura del combustible que circula por él ($5,4 \text{ m}^3/\text{h}$) en el entorno de los 125°C . Este sistema de calentamiento no suele funcionar cuando el motor está a régimen, solo en los procesos de arrancada.
- Calentador sistema de alimentación del motor principal: Debe calentar un flujo de combustible de $5,4 \text{ m}^3/\text{h}$ desde 125°C a 134°C que es la temperatura a la que el combustible seleccionado tiene la viscosidad adecuada para la inyección.
- Calentador sistema de alimentación de los motores auxiliares: Debe calentar un flujo total máximo de combustible de $2,2 \text{ m}^3/\text{h}$ ($3 \times 0,72 \text{ m}^3/\text{h}$) desde 120°C que es la salida del tanque de servicio diaria hasta 135°C que es la temperatura normal en los inyectores en esta clase de equipos.
- Calentadores sistema de alimentación de las calderas principales: Deben calentar un flujo de combustible de $3,4 \text{ m}^3/\text{h}$ por caldera desde 75°C hasta 100°C que se supone es la temperatura requerida en los quemadores.
- Calentador del tanque de reboses y derrames: El contenido de este tanque se descarga cada cierto tiempo en el tanque de sedimentación, se impone un tiempo de 2 horas para llevar su contenido total desde una temperatura de 10°C hasta la temperatura del tanque de sedimentación que es 75°C
- Tanque de lodos: El tiempo de calefacción se fija en dos horas para calentar su contenido desde los 10°C hasta 60°C que es una temperatura a la que se puede bombear su contenido.

Con todo ello se realizan los balances térmicos en los distintos consumidores, el resultado obtenido se muestra en la siguiente tabla:

CONSUMIDOR	CALOR NECESARIO (kcal/h)	CONSUMO DE VAPOR (kg_v/h)
Tanques almacén HFO	2.297.602,7	5.165,7
Tanque de sedimentación HFO	144.729,8	325,4
Calentadores de depuradoras de HFO	134.140,6	301,6
Tanques de servicio diario HFO de motor principal y auxiliares	121.326,3	272,8
Tanques de servicio diario HFO de calderas	232.363,1	522,4
Colector de retornos HFO	757,5	1,7
Calentador alimentación HFO Motor principal	30.678,8	69,0
Calentadores alimentación HFO Calderas	53.656,3	120,6
Calentador alimentación HFO Auxiliares	20.831,3	46,8



CONSUMIDOR	CALOR NECESARIO (kcal/h)	CONSUMO DE VAPOR (kg _v /h)
Tanque de reboses y derrames HFO	373.384,4	839,5
Tanque de lodos	620.203,1	1.394,4

Todos estos cálculos se tendrán en cuenta en el balance de vapor (punto 7.11)

Bombas

Todas las bombas del sistema son de accionamiento eléctrico, para su dimensionamiento se va a suponer en todas ellas un rendimiento total de 0,6:

- Bombas de trasiego desde los tanques almacén hasta el tanque de sedimentación: Estas bombas requieren un gran caudal para llenar rápidamente el tanque de sedimentación y que el combustible esté el máximo tiempo posible en reposo, para que sea posible llenarlo en una hora ha de tener un caudal de 101,9 m³/h, El salto de presión se supone de 4 bar. La potencia que requieren es por tanto:

$$P = \frac{Q \cdot \Delta p}{\eta} = \frac{101,9}{3.600} \cdot \frac{400.000}{0,60} = 18,87 \text{ kW}$$

- Bombas de alimentación de la purificadora de combustible: estas bombas son también de trasiego entre el tanque de sedimentación y los de servicio diario. El caudal que se ha de tratar en las purificadoras ha de ser de 0,23 litros/kW h por lo que para el motor que equipa el buque este caudal es 5 m³/h. A pesar de ello por lo que se ha expuesto en el dimensionamiento del calentador de la depuradora de combustible este caudal se tomará igual a 8,5 m³/h, que será la capacidad de las bombas, esta capacidad junto con un salto de presión de 5 bar para compensar las pérdidas de carga hacen que la potencia nominal eléctrica de estas bombas sea:

$$P = \frac{Q \cdot \Delta p}{\eta} = \frac{8,5}{3.600} \cdot \frac{500.000}{0,60} = 2,00 \text{ kW}$$

- Bombas de circulación: Estas bombas son las encargadas de llevar el combustible desde el tanque de servicio diario hasta la entrada del circuito de inyección del motor principal y de los motores auxiliares. Su dimensionamiento se hace en base al motor principal dando un margen del 50% por si tuviesen que funcionar varios equipos simultáneamente. El caudal fijado por el fabricante del motor es 8,7 m³/h y la presión 10 bar para asegurar que llegue a la entrada de los circuitos a 8 bar. Su potencia es:

$$P = \frac{Q \cdot \Delta p}{\eta} = 1,5 \cdot \frac{8,7}{3.600} \cdot \frac{1.000.000}{0,60} = 6,04 \text{ kW}$$



- Bombas de alimentación del motor principal: Por imposición del fabricante su caudal es 5,4 m³/h y su salto de presión 8 bar, para que llegue a los inyectores con una presión de 16 bar. La potencia necesaria para mover estas bombas es:

$$P = \frac{Q \cdot \Delta p}{\eta} = \frac{5,4}{3.600} \cdot \frac{800.000}{0,60} = \mathbf{2,00 \text{ kW}}$$

- Bombas de alimentación de los grupos generadores: Se dispondrán de tres bombas (una por grupo generador), cada una de ellas con un caudal de 0,72 m³/h a 8 bar, por lo que la potencia unitaria de cada una de estas bombas es:

$$P = \frac{Q \cdot \Delta p}{\eta} = \frac{0,72}{3.600} \cdot \frac{800.000}{0,60} = \mathbf{0,27 \text{ kW}}$$

- Bombas de alimentación de calderas: Se instalan dos bombas por caldera para tener una de respeto, de acuerdo con el consumo de cada caldera, el caudal necesario de cada una de estas bombas es 3,5 m³/h y su salto de presión 5 bar, por lo que su potencia eléctrica es:

$$P = \frac{Q \cdot \Delta p}{\eta} = \frac{3,5}{3.600} \cdot \frac{500.000}{0,60} = \mathbf{0,81 \text{ kW}}$$

- Bombas de trasiego desde el tanque de reboses y derrames y el de sedimentación : Para vaciar el tanque en una hora se necesita un caudal de 18,2 m³/h, si se impone un salto de presión de 8 bar, la potencia que absorben las bombas es:

$$P = \frac{Q \cdot \Delta p}{\eta} = \frac{18,2}{3.600} \cdot \frac{800.000}{0,60} = \mathbf{6,74 \text{ kW}}$$

- Bombas del tanque de lodos: Se usan para vaciar el contenido del tanque de lodos y llevarlo bien al incinerador o bien al exterior para su tratamiento y procesado. Las bombas se dimensionan para que cada una de ellas sea capaz de vaciar el tanque en tres horas (13,1 m³/h) con un salto de presión de 26 bar, puesto que este tanque se encuentra en el doble fondo y debe llevar su contenido hasta la cubierta principal con suficiente presión, que es donde se encuentra la toma a tierra y el incinerador.

$$P = \frac{Q \cdot \Delta p}{\eta} = \frac{13,1}{3.600} \cdot \frac{2.600.000}{0,60} = \mathbf{15,77 \text{ kW}}$$

Con ello quedan definidos todos los elementos principales del sistema, los cuales influyen notablemente tanto en el balance de vapor como en el balance eléctrico del buque.



7.1.2 Sistema de combustible ligero (MDO)

Los combustibles ligeros o destilados no necesitan otro tratamiento para ser enviados a los consumidores que un filtrado final, aunque sí que es recomendable instalar una centrífuga para la eliminación de posibles contenidos de agua.

Tanques

Para este sistema es suficiente con disponer de dos tanques, uno de almacén y otro de servicio diario, este último con capacidad para 8 horas abasteciendo al mayor consumidor que es el motor principal, suponiendo un consumo de MDO igual al de HFO, el tanque de servicio diario ha de tener una capacidad de **30 m³**.

Además se dispone un pequeño tanque alto adicional para el arranque de uno de los auxiliares en la condición de buque muerto, este tanque se dota de una capacidad de **2 m³** y se dispone en la tercera plataforma de cámara de máquinas.

Como la capacidad total de MDO es de 390 m³ el tanque almacén tendrá una capacidad de **358 m³**. La disposición de estos tanques es:

- Tanque de servicio diario: entre la tercera plataforma y la cubierta principal justo encima del tanque de almacén
- Tanque almacén: entre la segunda y tercera plataforma a popa de los tanques de almacenamiento de HFO y en el costado de estribor de la cámara de máquinas.

Estos tanques no necesitan estar calefactados puesto que el combustible ligero tiene, a la temperatura ambiente, una viscosidad menor a la mínima exigida por los fabricantes en los sistemas de inyección, que suele rondar los 20 cSt.

Bombas del sistema

La bomba de trasiego entre el tanque almacén y el de servicio diario se dimensiona para que pueda llenarse este último en 2 horas, por tanto su caudal es 15 m³/h y se supone un salto de presión de 4 bar, con lo que la potencia de esta bomba es:

$$P = \frac{Q \cdot \Delta p}{\eta} = \frac{15,0}{3.600} \cdot \frac{400.000}{0,60} = \mathbf{2,78 \text{ kW}}$$

Las bombas de alimentación a los distintos consumidores se dimensionan en base a las necesidades del mayor consumidor que es el motor principal. Suponiendo las mismas condiciones que para el fuel pesado, las bombas deben aportar un caudal máximo de 5,4 m³/h con una presión de 16 bar. Para salvar las posibles pérdidas de carga, la presión se fijará en 20 bar. Su potencia eléctrica nominal es:

$$P = \frac{Q \cdot \Delta p}{\eta} = \frac{5,4}{3.600} \cdot \frac{2.000.000}{0,60} = \mathbf{5,00 \text{ kW}}$$



7.2 Servicio de lubricación

En la cámara de máquinas hay numerosos equipos y sistemas que requieren lubricación, en este punto solo se van a describir los sistemas de lubricación de dos de ellos que son por ser los más complejos y representativos. Estos sistemas son:

- Sistema de lubricación del motor principal
- Sistema de lubricación de los motores auxiliares

7.2.1 Sistema de lubricación del motor principal

Debido a que se trata de un motor diesel de dos tiempos de cruceta, el espacio de cilindros del motor y el del cárter están separados físicamente por el vástago del pistón. El aislamiento se hace a través de empaquetamientos y aros rascadores.

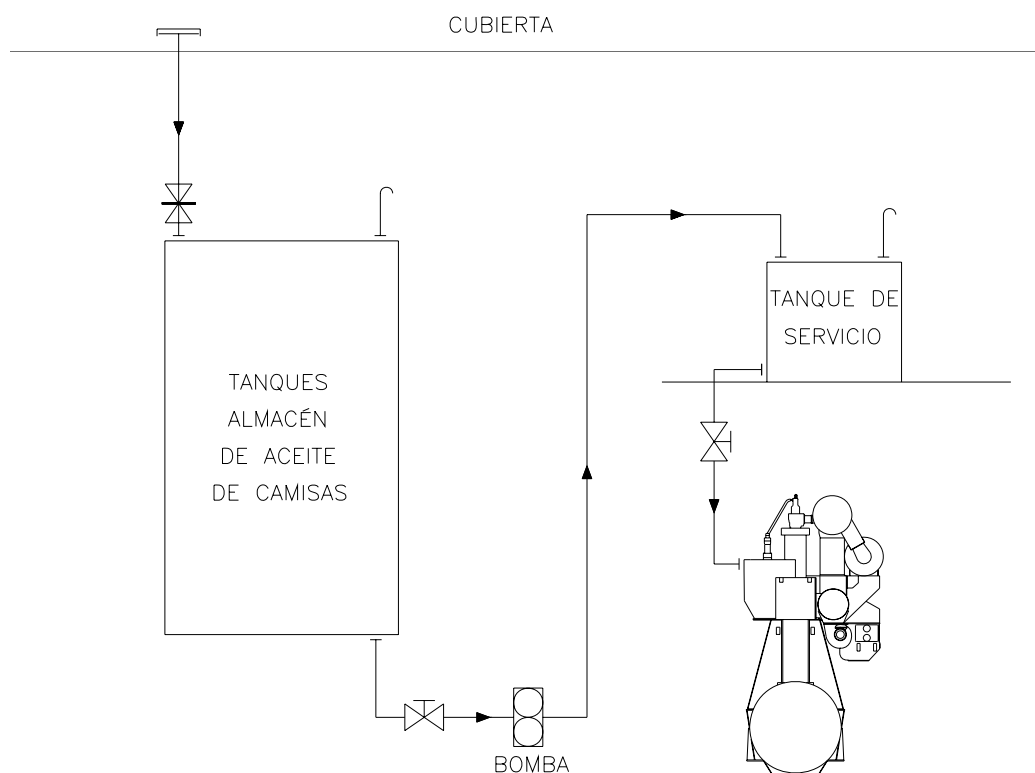
Por esta razón la lubricación de ambos espacios se hace a través de dos subsistemas distintos que usan dos tipos de aceite diferente, estos subsistemas son:

- Sistema de lubricación de camisas
- Sistema de lubricación del cárter o cojinetes

Las características principales de ambos sistemas se exponen a continuación:

5.2.1.1 Sistema de lubricación de camisas

Un esquema con los componentes principales de este sistema es:





El aceite es almacenado a bordo en el tanque de almacén de aceite de camisas, de aquí se hace pasar al tanque de servicio, el cual se sitúa en la tercera plataforma de cámara de máquinas, con objeto de suministrar el aceite lubricante necesario por gravedad hacia el motor propulsor.

Una vez llegado al motor, el aceite entra en un sistema de distribución a los distintos elementos, el cual está integrado en propio motor.

Las principales características del sistema de lubricación de camisas son:

- El tipo de aceite especificado por el fabricante ha de tener un grado de viscosidad SAE 50 y un índice de alcalinidad TBN 70 (para contenido en azufre del combustible del 4,5% en masa) la densidad se tomará igual a 920 kg/m³.
- El consumo específico de aceite para el rango de potencias en el que funcionará el motor es 0,6 g/kW h.
- Las capacidades recomendadas por el fabricante para los tanques del sistema son:

Tanque de servicio	2,9 m ³
Tanques de almacén	2 x 38,0 m ³

Con lo cual el tanque de servicio tiene una autonomía de unos 9,6 días (231 horas) con el motor funcionando a la potencia de servicio (19.285 kW)

La situación de estos tanques es: entre la tercera plataforma de cámara de máquinas y la cubierta principal en la mitad de la eslora de cámara de máquinas y a babor.

- La bomba de trasiego que hay entre los tanques almacén y el de servicio debe tener un caudal de 1,45 m³/h para que pueda llenar el tanque de servicio en dos horas, por tanto la potencia que debe tener esta bomba suponiendo una diferencia de presiones de 3 bar y un rendimiento total de 0,60 es:

$$P = \frac{Q \cdot \Delta p}{\eta} = \frac{1,45}{3.600} \cdot 300.000}{0,60} = 0,20 \text{ kW}$$

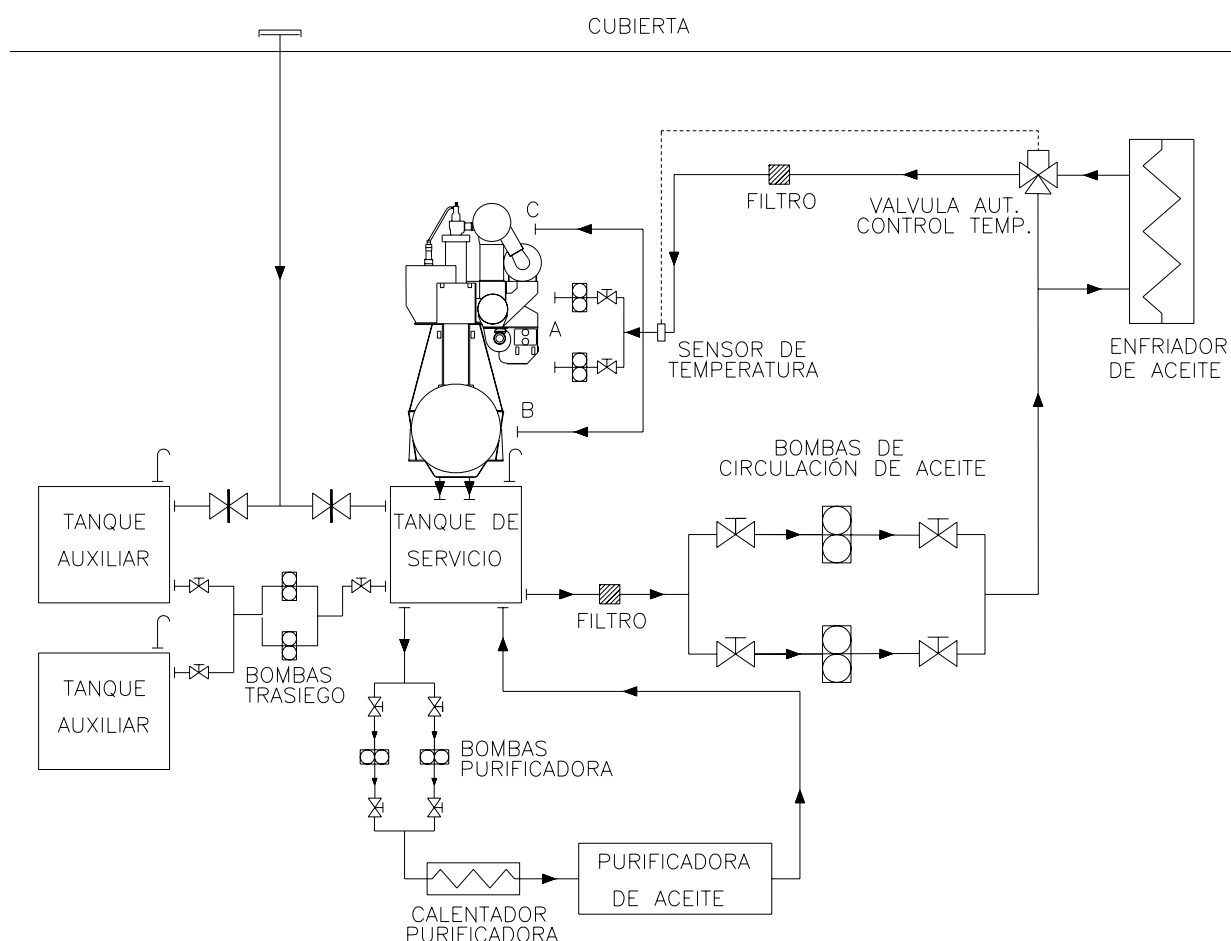
Como respeto de esta bomba es conveniente disponer de una bomba de mano acoplada al circuito.

- Para las ocasiones en que el motor principal queme combustible con contenido de 0,1% (Tipo 3) se debería tener la precaución de almacenar a bordo bidones con aceite de un TBN correspondiente a este contenido en azufre \approx TBN 30. Para no tener que cambiar el aceite en estos casos o para el caso de rodaje de una camisa, es conveniente disponer junto al tanque de servicio de una ménsula capaz de soportar un bidón y una bajada suplementaria hasta el motor con su correspondiente valvulería.



Sistema de lubricación del cárter

A través de este sistema se efectúa la lubricación de cojinetes, pistones, crucetas, bielas y demás partes móviles de esta zona. En la figura siguiente se ha representado un esquema del sistema lubricación de aceite de cojinetes, típico de un motor de 2 tiempos:



El aceite de este sistema se almacena en un tanque situado en el doble fondo de la cámara de máquinas dispuesto debajo del motor. La descarga desde el cárter a este tanque servicio se realiza por gravedad. Las bombas del sistema en general serán de husillo o de engranajes.

Además del tanque de servicio hay que disponer otros dos tanques de similar capacidad. En uno de ellos se almacenará una carga de respeto y el otro servirá para en caso de efectuar una renovación total tener donde almacenar el aceite usado.

Desde el tanque de servicio, el aceite es aspirado por las bombas de aceite, una de servicio y otra de stand-by a través del filtro de aspiración, el aceite es enviado al enfriador de aceite con objeto de mantener la temperatura del aceite a la entrada del motor en un rango de 40 - 47 °C.

Una vez el aceite sale del enfriador se introduce en el motor a través de tres puntos para lubricar los siguientes elementos:



- Punto A: Actuadores de las válvulas de exhaustación y crucetas, donde se requiere aumentar la presión en 5 bares.
- Punto B: Cojinetes, eje de levas y pistones.
- Punto C: Turbosoplantes.

Una vez que el aceite llega a las partes a lubricar, escurre bajando de nuevo al cárter por gravedad del que de nuevo es aspirado por las bombas cerrándose así el ciclo.

Por otra parte, es necesario purificar el aceite en una planta de purificación debido al alto número de contaminantes a los que está sujeto el cárter; es recomendable que el volumen total del aceite de servicio pase 2 – 2,5 veces por esta purificadora cada día. Este proceso de purificación del aceite se hace en un circuito cerrado independiente que aspira y descarga al tanque de servicio.

Características generales de cada elemento del sistema:

- Aceite: ha de ser de viscosidad SAE 30, con inhibidores de oxidación y herrumbre. Por otra parte, para mantener limpios de depósitos los espacios del eje de levas y de la refrigeración de pistones, ha de tener características adecuadas de dispersión y detergente. Su densidad se tomará igual a 920 kg/m³, que es el mismo valor que el utilizado para el aceite del circuito de lubricación de cilindros.
- Tanque de servicio: este se dispone en el doble fondo de cámara de máquinas justo debajo del motor propulsor, se le ha dotado por debajo de un cofferdam de 0,8 metros de altura por los riesgos de contaminación, su capacidad recomendada por el fabricante es 28,3 m³.
- Tanques auxiliares: Estos tienen aproximadamente la misma capacidad que el tanque de servicio, estando siempre uno de ellos vacío y el otro lleno; Se sitúan en el doble fondo de forma similar que el de servicio y simétricos respecto a crujía
- Bombas de trasiego entre los distintos tanques: Para pasar el contenido completo de uno a otro tanque en una hora con un salto de presión de 2 bares; La potencia necesaria de estas bombas es:

$$P = \frac{Q \cdot \Delta p}{\eta} = \frac{28,20}{3.600} \cdot 200.000}{0,60} = 2,60 \text{ kW}$$

- Bombas de circulación de aceite: Se disponen dos bombas (una de ellas de respeto) por recomendación del fabricante deben suministrar un caudal de 490 m³/h y trabajar con un salto de presiones de 4,4 bares. Por tanto, suponiendo un rendimiento total de 0,6 su potencia nominal es:

$$P = \frac{Q \cdot \Delta p}{\eta} = \frac{490,00}{3.600} \cdot 440.000}{0,60} = 99,81 \text{ kW}$$

- Enfriador de aceite: Puede ser de haz tubular o de placas, de materiales no féreos, se admite una pérdida de carga máxima en el aceite de 0,5 bar y se deben disipar en él **1.690 kW** con el motor trabajando a la potencia nominal, según datos del fabricante. Este último dato se tendrá en cuenta para el dimensionamiento del sistema de refrigeración.



- Bombas de suministro de aceite a los actuadores de las válvulas de exhaustación y cruceta (Punto A): Se disponen dos bombas una de ellas de reserva para lubricar estos elementos, se estima un caudal necesario de 2 m³/h con un salto de presiones de 5 bar. Suponiendo un rendimiento total de 0,6 la potencia necesaria de cada bomba es por tanto:

$$P = \frac{Q \cdot \Delta p}{\eta} = \frac{2,00}{3.600} \cdot 500.000}{0,60} = \mathbf{0,46 \text{ kW}}$$

- Filtros de aceite: Serán de tipo autolimpiables, la pérdida de carga con filtros nuevos y limpios no debe sobrepasar los 0,2 bar y con filtros sucios 0,6 – 0,8 bar.
- Bombas de purificadora de aceite: La capacidad de depuración de la planta ha de ser de 0,136 litros/kW h para esta gama de motores. Por tanto, para este caso concreto se requiere un caudal de 2,96 m³/h lo que supone una purificación del volumen total de aceite del tanque de servicio de 2,5 veces al día. Suponiendo una diferencia de presión de 4 bares y un rendimiento total de 0,6 la potencia de estas bombas es:

$$P = \frac{Q \cdot \Delta p}{\eta} = \frac{2,96}{3.600} \cdot 400.000}{0,60} = \mathbf{0,55 \text{ kW}}$$

- Calentador de la depuradora de aceite: El proceso de depuración del aceite necesita una temperatura del flujo que se va a tratar de alrededor de 85 °C si se supone que el aceite del cárter se encuentra a una temperatura de 50 °C cuando es succionado por las bombas de la purificadora, el calor que hay que aportar al flujo de aceite, suponiendo un calor específico de 0,5 kcal/kg °C, es:

$$q = Q \cdot \rho \cdot c_e \cdot (T_{in} - T_{out}) = 2,96 \cdot 920 \cdot 0,5 \cdot (85 - 50) = 47.656 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

Este servicio se realiza con la planta de vapor, por lo que el caudal de vapor necesario que usa este dispositivo de la planta de vapor del buque es:

$$Q_{MV} = \frac{47.656}{494,2 \cdot 0,9} = \mathbf{107,1 \frac{kg_v}{h}}$$

- Purificadora centrífuga de aceite: Como se trata de cámara desatendida, se instalarán dos purificadoras autolimpiables con descarga total o parcial, de las cuales una se mantendrá en reserva, su consumo unitario funcionando a plena potencia se estima en 3,00 kW.



7.2.2 Sistema de lubricación de los motores auxiliares

El sistema de lubricación básicamente consta de un tanque de almacenamiento de aceite y de una bomba de accionamiento eléctrico para cada uno de los grupos generadores.

La capacidad de estas bombas ha de ser de 36 m³/h a 5 bar por lo que su potencia unitaria es:

$$P = \frac{Q \cdot \Delta p}{\eta} = \frac{36,0}{3.600} \cdot 500.000}{0,60} = \mathbf{8,33 \text{ kW}}$$

Además, se dispone un único tanque de almacenamiento de aceite lubricante con capacidad para **240 m³** situado en la tercera plataforma de cámara de máquinas.



7.3 Servicio de refrigeración

El agua de mar es la fuente fría de todos los procesos térmicos que se desarrollan en la cámara de máquinas.

La captación de este agua de mar para todos los servicios se hace a través de dos tomas de mar situadas en el pantoque, a ambos costados y a proa de la cámara de máquinas, están comunicadas entre sí por un colector que atraviesa la cámara de banda a banda.

Estas tomas de mar consisten en una abertura practicada en casco protegida con una rejilla. Interiormente tienen la estructura de un cajón con diversas penetraciones, estas tomas deberán tener una aireación hasta cubierta que permita la evacuación de bolsas de aire. También se disponen de tuberías de vapor para el caso de formación de hielo, y de aire comprimido para su limpieza.

Debido a que la temperatura del agua de mar no es constante, los intercambiadores de calor se dimensionan para una temperatura del agua de mar de 25 °C. En ocasiones esta temperatura podrá ser superior lo que obligará a moderar los procesos, en otras, las más, será sensiblemente inferior lo que obligará a regular caudales, o recircular flujos para mantener las temperaturas en el nivel requerido.

El sistema de refrigeración será centralizado, consistente en un circuito corto de agua de mar con un intercambiador de calor en el que el fluido secundario es agua dulce que es la que lleva la refrigeración a los puntos donde es necesaria. Para hacer una estimación de la capacidad de las bombas de agua dulce y agua salada se hará una estimación del calor a evacuar y del caudal de agua necesario para ello. Los principales servicios que requieren refrigeración y el calor a evacuar en cada uno de ellos son los siguientes:

- Motor principal para refrigerar los distintos componentes el fabricante establece un caudal máximo de agua salda de 660 m³/h (Especificado en el documento "Specified Main Engine and Rating" que se ha incluido al final del presente cuaderno).

El resto de equipos a los que da servicio el sistema de refrigeración central tienen las siguientes necesidades de refrigeración:

- Motores auxiliares Según los datos del fabricante se deben evacuar un total 997.200 kcal/h con agua de refrigeración.
- Condensador de la planta de vapor, el calor a evacuar se ha obtenido en el punto 5 y es 1.826.810 kcal/h
- Servicio de aire acondicionado se estima como el calor extraído del ambiente incrementado en un 10% teniendo en cuenta el servicio de aire acondicionado de habitación, sala de control de cámara de máquinas y talleres. Este valor es 209.878 kcal/h.
- Transformadores, el calor evacuado se estima como el 10 % de su potencia nominal y es igual a 24,6 kW = 21.187 kcal/h.

Por lo que el calor máximo a evacuar de estos equipos es **3.055.075 kcal/h**. Suponiendo un salto de temperatura en el agua salada de refrigeración de 6 °C en las



peores condiciones (aguas tropicales) y un rendimiento de 0,9 en el intercambiador, el caudal de agua salada necesario es:

$$Q_{M \text{ Agua salada}} = \frac{q_{\text{Evacuar}}}{c_e \cdot \Delta T \cdot \eta} = \frac{3.055.075}{1 \cdot 6 \cdot 0,9} = 565.755 \frac{\text{kg}}{\text{h}} = 552 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Por lo que el caudal requerido de agua salada es **1.212 m³/h** Y la potencia de las bombas suponiendo un salto de presión de 3 bar y un rendimiento total de 0,6 es:

$$P = \frac{Q \cdot \Delta p}{\eta} = \frac{\frac{1.212}{3.600} \cdot 300.000}{0,60} = \mathbf{168,33 \text{ kW}}$$

El sistema de refrigeración de agua salada se reduce a un grupo de bombeo, un grupo de intercambio de calor y la descarga al mar. El sistema debe estar diseñado para las peores condiciones, es decir aguas tropicales y el conjunto de las instalaciones a refrigerar, funcionando a plena carga.

En cuanto a las bombas del sistema secundario de refrigeración, que tiene como refrigerante agua dulce, para el motor principal el fabricante establece un caudal de 530 m³/h (Especificado en el documento "Specified Main Engine and Rating" que se ha incluido al final del presente cuaderno). Para el resto de equipos se supone la misma capacidad requerida de agua dulce que de agua salada, por lo que el caudal requerido es **1.082 m³/h**. La potencia de las bombas de circulación del circuito secundario suponiendo un salto de presión de 25 metros es:

$$P = \frac{Q \cdot \Delta p}{\eta} = \frac{\frac{1.082}{3.600} \cdot 25 \cdot 9,8 \cdot 1.000}{0,60} = \mathbf{122,73 \text{ kW}}$$

Además en el circuito de agua dulce de refrigeración se debe disponer un tanque de expansión que absorba las dilataciones por cambio de temperatura del agua, por lo que se dispone un tanque de dilatación de 2 m³.

Las bombas serán centrífugas de accionamiento eléctrico y de eje vertical. Se instalarán dos juegos de bombas con la capacidad total en cada sistema de refrigeración; Se debe tener la precaución de instalar un número de bombas tal que permita una cierta flexibilidad del sistema en función de las distintas situaciones de refrigeración.



7.4 Servicio de lastre

El buque necesita mantener un mínimo calado para gobernar con seguridad. Cuando se ha efectuado la descarga hay que introducir a bordo un peso que asegure ese calado y ese peso se consigue con agua de mar. Cuando haya que cargar el buque de nuevo ese lastre habrá de eliminarse. Es necesario que las bombas de lastre tengan una gran capacidad de aspiración, ello es lo que obliga a que el sistema de lastre sea independiente de otros sistemas de agua salada.

Como resultado del compartimentado del buque, el cual se ha descrito en el cuadeno 3 de proyecto, éste dispone de 14 tanques de lastre separado, estando 12 de ellos en la zona de carga, uno en el pique de proa y otro en el pique de popa. La capacidad total de lastre es 52.345 m³.

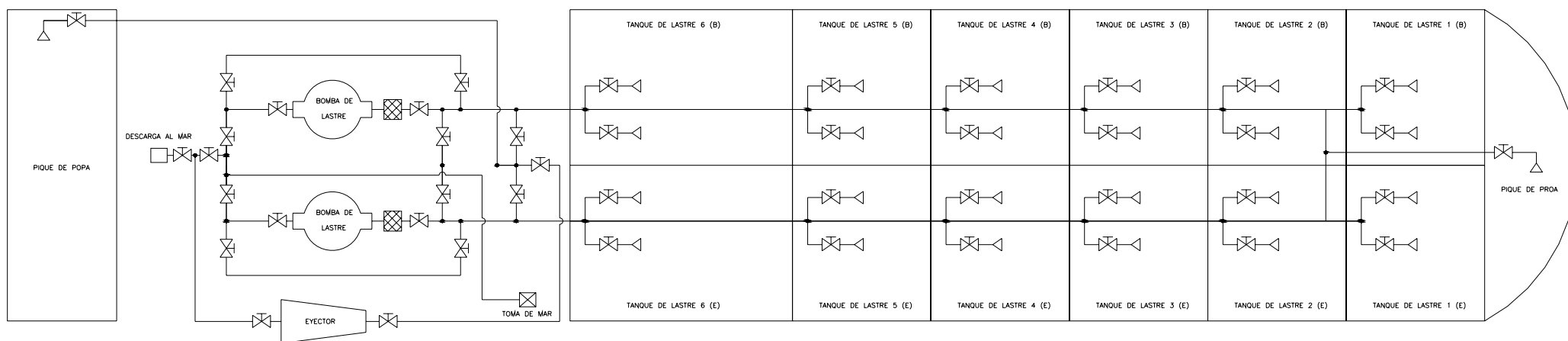
Por imposiciones de la especificación, para el manejo de esta cantidad de lastre, el buque proyecto debe contar con dos electrobombas de 1.750 m³/h a 35 m.c.a. y un eyector de lastre de 400 m³/h a 35 m.c.a.

La potencia eléctrica nominal de cada una de estas bombas, suponiendo un rendimiento de 0,6 es:

$$P = \frac{Q \cdot \Delta p}{\eta} = \frac{1.750}{3.600} \cdot 35 \cdot 9,81 \cdot 1000}{0,60} = 278,18 \text{ kW}$$

Estas bombas de lastre tienen sus propias tomas de mar independientes del colector general de agua salada, puesto que su poder de aspiración puede dejar sin servicio al resto de bombas situadas en el mismo colector.

El esquema del sistema de manejo de lastre es el siguiente:





7.5 Servicio de agua dulce

El agua dulce a bordo del buque tiene dos orígenes bien distintos: la embarcada durante las estancias en puertos y terminales y la producida a bordo.

El equipo necesario para embarcar la primera se reduce a una tubería con toma en cubierta que descarga a los tanques de almacenamiento de agua dulce.

El agua producida a bordo es agua destilada obtenida a partir de agua de mar por un generador de agua dulce. Para destinar esta agua al consumo humano debe someterse a un tratamiento de potabilización.

En el buque proyecto se dispondrán dos tipos de tanques para el almacenamiento de agua dulce:

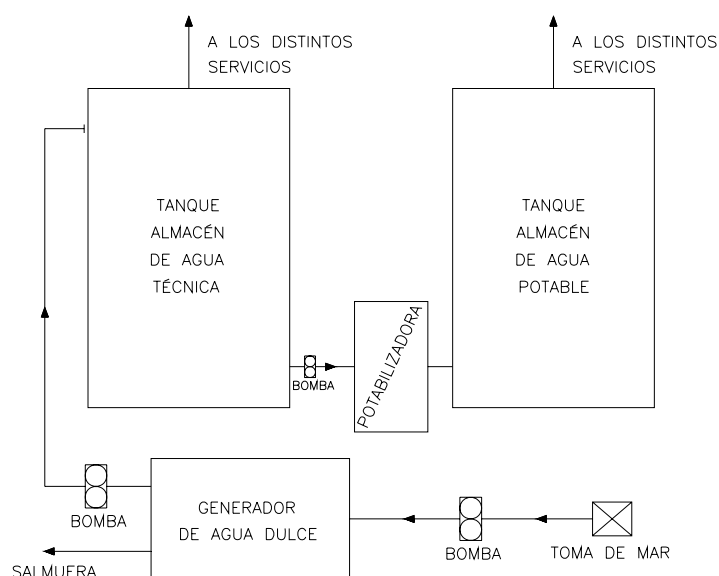
- Dos de agua potable para el servicio de habilitación, con capacidad unitaria de 230,1 m³.
- Dos para agua técnica o industrial que se utiliza en la planta de vapor, en el sistema de contraincendios de habilitación por rociadores y en los circuitos cerrados de refrigeración por agua dulce. La capacidad de cada tanque es 210,8 m³.

Estos cuatro tanques se disponen a popa de la cámara de máquinas a una altura que se corresponde con la tercera plataforma de la cámara de máquinas (17,37 metros sobre la línea de base).

La generación de agua dulce sigue la siguiente secuencia:

1. El generador toma agua de mar transformando parte en agua dulce.
2. El agua dulce producida se introduce en el tanque de agua técnica.
3. La planta de potabilización toma el agua técnica de este tanque y la introduce en el tanque de agua potable tras pasar por el tratamiento de potabilización.
4. Desde ambos tanques se distribuye el agua a los distintos servicios.

Un esquema de este proceso es el siguiente:





Para la obtención de agua dulce el buque dispone de dos generadores de agua dulce mediante hervido (uno de ellos de respaldo) cuya energía será suministrada por la planta de vapor. Como es sabido, estos sistemas no pueden funcionar en puerto, por tanto solo estarán operativos en la situación de navegación.

Estos dispositivos funcionan con un cierto grado de vacío (del orden del 90%) para poder evaporar el agua de mar más fácilmente, una vez que se ha evaporado el agua de mar se condensa obteniendo de esta manera agua dulce y dejando como residuo salmuera.

Si se dimensionan estos generadores para una producción de 15 ton/día = 625 kg/h y suponiendo una presión de trabajo de 0,1 kgf/cm². Haciendo cálculos se obtiene un flujo de calor a aportar de 366.688 kcal/h. Suponiendo un rendimiento del proceso del sistema de 0,8 se requiere el siguiente caudal de vapor:

$$Q_{MV} = \frac{366.688}{494,2 \cdot 0,8} = 927,5 \frac{\text{kg}_v}{\text{h}}$$

El caudal de agua de mar necesario se estima en cuatro veces la producción de agua dulce por lo que se requiere un caudal de 2.500 m³/h. La presión a la que deben suministrar estas bombas no es muy alta puesto que el equipo se dispone en la parte baja de la cámara de máquinas y además el sistema funciona a vacío por lo que se supone un incremento de presión de 1 bar. La potencia necesaria suponiendo un rendimiento total de 0,6 es:

$$P = \frac{Q \cdot \Delta p}{\eta} = \frac{2.500}{3.600} \cdot \frac{100.000}{0,60} = 115,74 \text{ kW}$$

La capacidad de la bomba que se requiere para llevar la producción de agua dulce hasta el tanque de agua técnica es (se ha supuesto un caudal del doble de la producción diaria):

$$P = \frac{Q \cdot \Delta p}{\eta} = \frac{1,25}{3.600} \cdot \frac{24,4 \cdot 9,81 \cdot 1.000}{0,60} = 0,14 \text{ kW}$$

Por último, la bomba que hay entre ambos tanques de almacenamiento y que suministra de agua dulce a la potabilizadora debe tener un caudal igual al de consumo de agua potable. Esto se ha estimado en el punto 7.9.4 de este cuaderno y es igual a 1,95 m³/h, con un salto de presión de solo 1 bar puesto que ambos tanques están a la misma altura:

$$P = \frac{Q \cdot p}{\eta} = \frac{1,950}{3.600} \cdot \frac{100.000}{0,60} = 0,09 \text{ kW}$$

Además, el consumo de la potabilizadora se estima en **5,00 kW**.

Por lo que la potencia eléctrica total que requiere el equipo de obtención y tratamiento de agua dulce es **120,97 kW**.



7.6 Servicio de aire comprimido

La totalidad de los motores marinos con potencias superiores a los 300/400 bhp se arrancan con aire comprimido. La presión nominal de aire de arranque requerida por el fabricante del motor es de 30 bares. El sistema exige la existencia de compresores y de botellas que acumulen el aire para permitir arrancadas sucesivas.

Además, en los modernos buques han ido surgiendo usos adicionales para el aire comprimido, tales como control y actuación de instrumentos, accionamientos de herramientas de mano, limpieza, etc. La presión usual de estos servicios suele ser de 7/8 bares.

El reglamento de la sociedad de clasificación en su Parte 5, Capítulo 2, Sección 8 establece una serie de requerimientos a este respecto:

- Para el caso de “buque muerto” se ha de disponer de un compresor que funcione con la energía del generador de emergencia y que permita rellenar las botellas y así poder arrancar todos los elementos generadores de energía del buque (planta de propulsión, auxiliares y calderas).
- Se deben instalar al menos dos compresores capaces de rellenar en una hora botellas con la capacidad de aire necesario para arrancar el motor 12 veces consecutivas. Los compresores deben tener capacidades similares y al menos uno de ellos debe ser independiente de la planta de propulsión principal.
- La temperatura del aire a la salida del compresor no debe exceder 93 °C en servicio.
- Cada compresor debe estar dotado de una válvula de seguridad que evite que la presión del aire acumulado con la válvula de escape cerrada no se incremente en más de un 10% de la presión de trabajo del compresor (33 bar).
- Es recomendable que estos compresores sean refrigerados por agua dulce.

El fabricante del motor indica que la capacidad necesaria para todo ello, tanto de las botellas como del compresor es:

Botellas	2 x 8 m ³
Capacidad total compresores	480 m ³ /h
Presión de trabajo	30 bar

Para los consumidores de aire de menor presión como pueden ser:

- Arranque motores auxiliares.
- Elementos de control neumático.
- Herramientas de accionamiento neumático.
- Medios portátiles de elevación.
- Algunos servicios de cubierta donde el uso de herramientas eléctricas está totalmente prohibido en petroleros.
- Etcétera.



Se deben instalar estaciones reductoras que toman el aire de las botellas, cada una de las líneas de servicio debe tener su propia válvula de aislamiento que permita cerrar la línea y evitar fugas cuando no hay sistemas en uso en ellas.

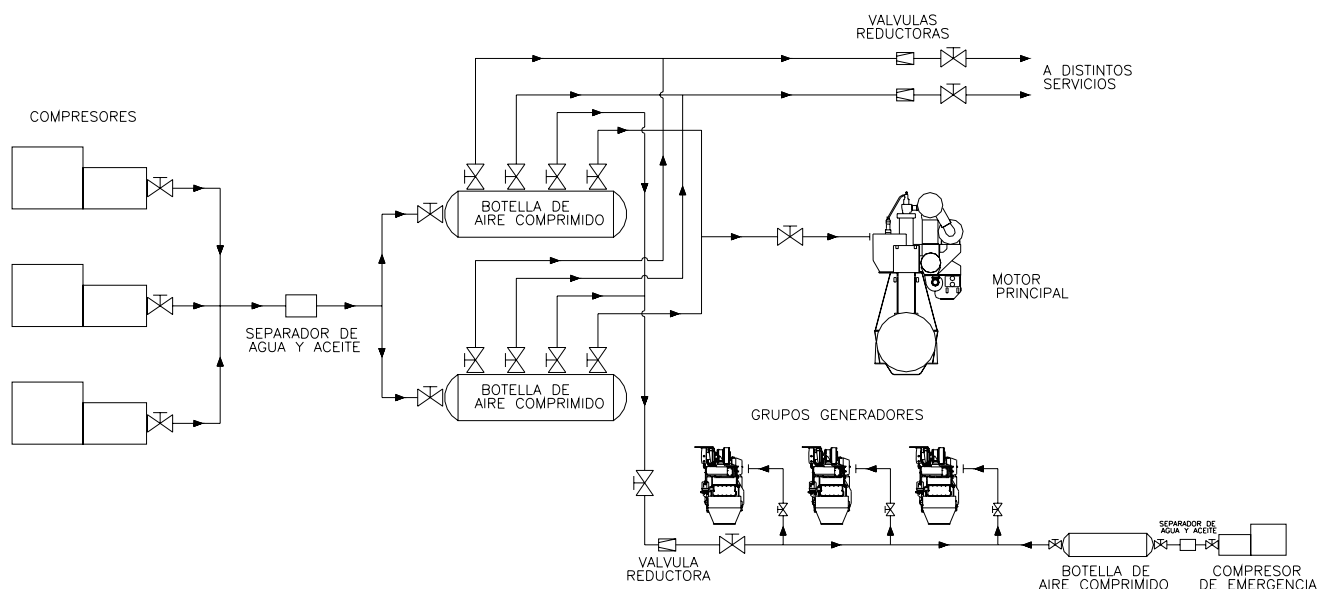
Los compresores serán accionados por motores diesel independientes y estarán gobernados por un presostato situado en la botella de servicio. Además deben contar a la salida con un separador de agua y aceite.

En base a todo ello se instalarán a bordo 3 compresores refrigerados por agua dulce, de dos etapas con una capacidad unitaria de 250 m³/h, los cuales son movidos por respectivos motores diesel de 51,50 kW de potencia. Estos compresores son de arranque y parada automática para mantener 30 bares en las botellas de aire comprimido.

Por tanto con dos de estos compresores se tiene la capacidad suficiente requerida por la sociedad de clasificación y por el fabricante del motor principal, quedando el otro de respeto.

Adicionalmente se instalará un compresor de aire de emergencia con una capacidad de 9 m³/h que abastece a una botella de aire de arranque de 1 m³ el cual es accionado por un motor eléctrico de 2,00 kW.

Un esquema de la instalación podría ser el siguiente:





7.7 Servicio de exhaustación de gases de escape

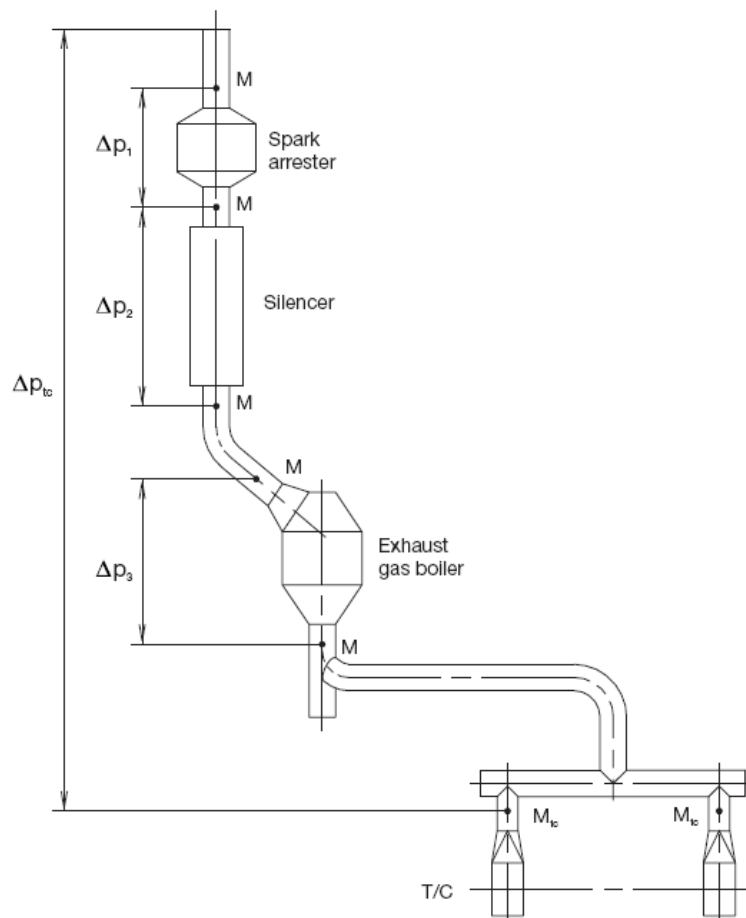
7.7.1 Motor principal

Los gases de escape una vez que abandonan las turbosoplantes del motor principal, recorren un circuito hasta que son tirados a la atmósfera. A este circuito se le llama sistema de exhaustación.

Los componentes principales de este sistema son los siguientes:

- Tuberías de exhaustación
- Caldereta de gases de escape
- Silenciador
- Equipos apaga chispas

Un esquema de la instalación sacado de la especificación del motor es el siguiente:



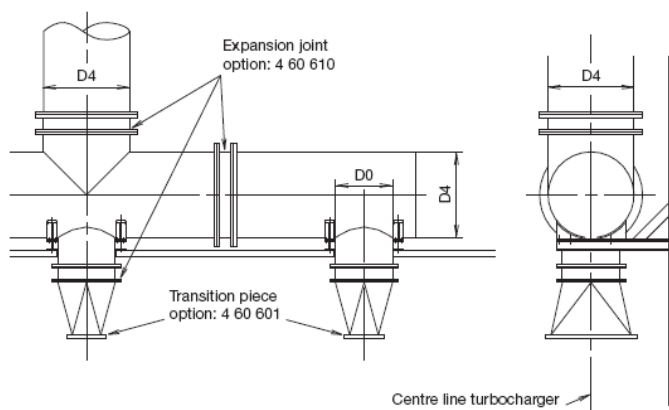
Para la definición y dimensionamiento de cada uno de estos equipos se necesita cierta información del motor así como los requerimientos que impone el fabricante del mismo.



Uno de los requerimientos más importantes es que es que la pérdida de carga total en el sistema de exhaustación no puede ser mayor de 350 mm de c.a. (0,035 bar), aunque para los cálculos se recomienda tomar 300 mm de c.a. (0,030 bar) para tener en cuenta el envejecimiento de la instalación.

La velocidad de los gases de escape en el sistema se debe tomar del orden de 35 m/s sin sobrepasar nunca los 50 m/s.

- **Tuberías de exhaustación.-** Tras pasar por las tuberías de escape los gases llegan al colector donde las presiones fluctuantes de los gases provenientes de los distintos cilindros se igualan. Toda la red de tuberías ha de estar aislada térmicamente.
En la condición de MCR (21.770 kW) la temperatura de los gases de escape es 245 °C y el caudal 201.600 kg/h = 56,0 kg/s. Para el dimensionamiento de los siguientes parámetros:



El fabricante ofrece una serie de datos en forma tabular:

Gas velocity				Exhaust gas pipe diameters				
35 m/s	40 m/s	45 m/s	50 m/s	D0				D4
Gas mass flow				1 T/C	2 T/C	3 T/C	4 T/C	
kg/s	kg/s	kg/s	kg/s	[DN]	[DN]	[DN]	[DN]	[DN]
26.7	30.5	34.3	38.2	1,200	850	700	600	1,200
31.4	35.8	40.3	44.8	1,300	900	750	650	1,300
36.4	41.6	46.8	51.9	1,400	1,000	800	700	1,400
41.7	47.7	53.7	59.6	1,500	1,050	850	750	1,500
47.5	54.3	61.1	67.8	1,600	1,150	900	800	1,600
53.6	61.3	68.9	76.6	1,700	1,200	1,000	850	1,700
60.1	68.7	77.3	85.9	1,800	1,300	1,050	900	1,800
67.0	76.5	86.1	95.7	N.A.	1,300	1,100	950	1,900

Entrando con un caudal de 56 kg/s, para la opción de 2 turbosoplantes (2 T/C) se elige la opción:

D0	1.150 mm
D4	1.600 mm

Para que la velocidad de los gases en la condición de máxima potencia esté en torno a 42 m/s y en la condición de servicio (19.285 kW) con un caudal de 51,4 kg/s (185.200 kg/h) la velocidad es de unos 38 m/s.



○ Caldereta de gases de escape

Por imposición de la especificación de proyecto, esta caldera ha de ser mixta de gases de escape y mecheros. La pérdida de carga máxima permitida por el fabricante del motor en este equipo es de 150 mm de columna de agua.

A continuación se va a pasar a calcular la cantidad de energía en forma de vapor de agua que puede obtenerse del caudal de gases de escape del motor principal. Las condiciones de estos gases a la salida de las turbosoplantes en la condición de MCR son:

Temperatura	245,0 ° C
Caudal de gases	201.600 kg/h

En la condición de servicio (19.285 kW) las condiciones de estos gases son:

Temperatura	235,9 ° C
Caudal de gases	183.995 kg/h

En base a ello la energía total que puede obtenerse en la caldera:

$$q = Q_M \cdot ce_{gases} \cdot (T_{in} - T_{out}) \cdot \eta_{Caldera}$$

Donde:

- “ Q_M ”: Caudal másico de gases = 183.995 kg/h
- “ ce_{gases} ”: Calor específico de los gases de escape, se tomará igual a 0,25 kcal/kg °C.
- “ T_{in} ”: Temperatura a la entrada de la caldera, se tomará una caída de 1 °C entre la salida de la turbosoplante y la entrada de la caldera, por lo que este valor es igual a 234,9 °C.
- “ T_{out} ”: Temperatura a la salida de la caldera, debe cumplir dos condiciones: Por un lado ser superior a la temperatura de rocío del ácido sulfúrico que es de unos 180 °C y por el otro ser superior en al menos 15 °C a la temperatura de saturación de vapor a la presión que éste se quiere generar, para garantizar una buena termotransferencia. Si se fija la presión del vapor generado en 7 kgf/cm² su temperatura de saturación es 164,2 °C. Por lo que una temperatura que cumple ambos requerimientos es 185 °C y será la que se fije a la salida de la caldereta de gases de escape.
- “ $\eta_{Caldera}$ ”: Es el rendimiento total de la caldera que se toma igual a 0,96.

Con lo cual ya se puede calcular la energía obtenible en la caldereta que es:

$$q = 183.995 \cdot 0,25 \cdot (234,9 - 185) \cdot 0,96 = 2.180.570 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

El caudal de vapor “ Q_{MV} ” que puede obtenerse en la caldereta con esta cantidad de energía es:



$$Q_{MV} = \frac{q}{h_v - h_{\text{agua}}}$$

Donde:

- “ Q_{MV} ”: Caudal másico de vapor
- “ q ”: Energía cedida en la caldera por los gases de escape del motor.
- “ h_v ”: Entalpía del vapor saturado seco a la presión de trabajo que produce la caldera que es 659,9 kcal/kg.
- “ h_{agua} ”: Entalpía del agua que entra a la caldera para convertirse en vapor saturado seco a una presión de 7 kgf/cm². Si se supone que el agua entra a 70 °C después de pasar por un economizador, la entalpía es el producto del calor específico (1 kcal/kg °C) del agua por la temperatura, por lo que este valor es igual a 60 kcal/kg.

Por tanto el caudal másico de vapor obtenible es:

$$Q_{MV} = \frac{2.180.570}{659,9 - 70,0} = 3.696,5 \frac{\text{kg}_v}{\text{h}}$$

○ Silenciador

La pérdida de carga del caudal de gases de escape permitida como máximo en este elemento por el fabricante es de 20 mm de c.a. (0,002 bar).

Este dispositivo se instala a continuación de la caldereta de gases de escape y su misión es la de amortiguar la transmisión de ruidos evitando que lleguen a la zona de habilitación y puente de mando. Sus características han de ser tales que permitan que el nivel de intensidad sonora en el puente debido al motor principal, cuando éste funcione a la MCR, no supere los 60-70 dB

○ Equipo apaga chispas

El último dispositivo que deben atravesar los gases de escape antes de ser lanzados a la atmósfera es un equipo apaga chispas, el cual evita la propagación de chispas fuera del circuito de exhaustación reduciendo el riesgo de un incendio a bordo.

En este equipo se produce una gran pérdida de carga, cuyo valor máximo impuesto por el fabricante es de 100 mm de c.a. entre el silenciador y el equipo apaga chispas.

7.7.2 Motores auxiliares y calderas

La exhaustación de los motores auxiliares y de las calderas principales se hace a través de conductos que se disponen en la chimenea, de modo que no hay ningún sistema de aprovechamiento del calor de estos gases. Salvo los economizadores que pudiesen llevar integrados las calderas principales.



7.8 Ventilación y extracción de cámara de máquinas

El aire en la cámara de máquinas cumple dos funciones:

- Suministrar el oxígeno necesario para llevar a cabo los procesos de combustión de motores y calderas.
- Refrigerar el ambiente para retirar el calor disipado en los distintos equipos.

Para ello se requiere un sistema de ventilación y extracción de aire en cámara de máquinas. Este aire debe ser aportado por medios mecánicos, los cuales deben asegurar la aportación de aire fresco en cantidades suficientes así como la extracción del aire viciado.

El aire se suministra por medio de ventiladores centrífugos, de modo que parte de él se inyecta directamente a la cámara y parte es dirigido en conductos a los puntos de consumo. La extracción, de la misma manera, aspira una parte de la zona superior de la cámara y otra a través de conductos de determinadas zonas donde se requiere especial atención.

Las necesidades de aire se dividen en dos sumandos:

Aire necesario para la combustión

- Motor principal. Según el fabricante, el consumo de aire en la condición de potencia máxima es 55 kg/s, como la densidad del aire a 35 °C y a la presión atmosférica es 1,15 kg/m³, se requiere un caudal de 47,8 m³/s = 172.080 m³/h.
- Motores auxiliares: El consumo de aire de cada motor auxiliar trabajando a su máxima potencia es 5.720 kg/h = 4.973 m³/h.
- Calderas principales: Si se estima un consumo de aire de 1 m³ por cada kilo de vapor producido se tiene un consumo de aire de aire por caldera de 42,0 t/h = 11,7 kg/s = 10,1 m³/s = 36.360 m³/h

La suma total hace que el aire máximo necesario para la combustión sea de **259.719 m³/h**, como nunca van a estar operando a la vez todos estos sistemas se habrá de instalar un sistema que regule la potencia de ventilación y extracción en función del número de equipos en funcionamiento.

Aire necesario para refrigerar el ambiente

El calor radiado por los motores a la cámara de máquinas puede estimarse como entre el 1 y el 1,5 % de su potencia nominal. Para calderas es del orden del 1 % de la potencia del quemador. El calor radiado por cada equipo es por tanto:

- Motor principal: 326,6 kW = 281.239 kcal/h
- Motores auxiliares principal: 3 x 8,8 kW = 22.737 kcal/h
- Calderas principales: 2 x 247.758 kcal/h = 495.516 kcal/h

En cuanto a la disipación de calor de la potencia eléctrica, se estima que un 7-8 % de la potencia generada se disipa en forma de calor en la cámara de máquinas, lo que corresponde a un valor máximo de 134 kW = 115.407 kcal/h.



En el servicio de vapor puede estimarse que en la distribución las pérdidas por radiación y otros conceptos (fugas, vahos etc.) no superan el 2 % lo que supone un calor máximo de 934.119 kcal/h.

El calor total a evacuar es 1.849.018 kcal/h. El caudal de aire necesario para la evacuación del calor generado en la cámara de máquinas puede ser estimado por la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{3 \cdot q}{(T_{C.máquinas} - T_{in})} = \frac{3 \cdot 1.849.018}{35 - 25} = 554.705 \frac{m^3}{h}$$

La temperatura de la cámara de máquinas depende de diversos factores. Como se dispone cámara de control (situada en la tercera plataforma) y además el buque tiene clasificación U.M.S. (Unattended Machine Space) la estancia del personal en cámara de máquinas es ocasional y se permiten temperaturas mayores de 30 °C por lo que se fija una temperatura de 35 °C.

Por tanto las necesidades máximas de ventilación son 814.424 m³/h. Considerando los distintos escenarios, la situación en la que van a funcionar mayor número de equipos es la de navegación-calentando carga, donde funcionarán: el motor principal, un grupo auxiliar, la caldereta de gases de escape y una caldera principal. Haciendo los correspondientes cálculos las necesidades máximas de ventilación son:

- Aire combustión 213.413 m³/h.
- Aire mantenimiento de temperatura 195.595 m³/h.

Por lo que el sistema se va a dimensionar para esta última condición que requiere un caudal máximo de 409.008 m³/h.

En cuanto a la extracción, hay que tener en cuenta que el aire suministrado para la combustión sale de la cámara de máquinas por sus propios conductos y por tanto las necesidades de extracción se reducen al caudal de aire para el mantenimiento de la temperatura, este caudal se extrae de la cámara de máquinas por medio de extractores y rejillas.

La potencia requerida por los ventiladores y extractores del sistema suponiendo un salto de presión de presión de 65 mm de c.a. y un rendimiento total de 0,7 se puede estimar a través de las siguientes expresiones:

- Ventiladores, se disponen 5 ventiladores de 100.000 m³/h de modo que siempre quede uno de reserva, su potencia unitaria será:

$$P(kW) = 0,2 \cdot \frac{Q \cdot \Delta p}{\eta} = 0,2 \cdot \frac{100.000}{3.600} \cdot \frac{0,065 \cdot 9,8 \cdot 1.000}{0,7} = 18,20 \text{ kW}$$

La potencia instalada para los sistemas de ventilación es por tanto igual a **91,00 kW**.



- El caudal de aire a extraer en la condición de máxima ventilación es 195.595 m³/h, se supone que se extraen por medios mecánicos 120.000 m³/h y el resto a través de rejillas. Se disponen 4 ventiladores reversibles de 40.000 m³/h, de modo que siempre haya uno de reserva, se tiene que la potencia unitaria de cada uno de ellos ha de ser igual a:

$$P(\text{kW}) = 0,2 \cdot \frac{Q \cdot \Delta p}{\eta} = 0,2 \cdot \frac{\frac{40.000}{3.600} \cdot 0,065 \cdot 9,8 \cdot 1.000}{0,7} = 7,28 \text{ kW}$$

La potencia total instalada para los sistemas de extracción es por tanto **29,12 kW**.

Distribución

El aire de alimentación de los motores, tanto principales como auxiliares deberá ser conducido desde el exterior hasta las inmediaciones de las aspiraciones de las turbosoplantes. Sin embargo las calderas, que no son tan exigentes en lo que respecta a la calidad del aire, aspiran directamente de la cámara de máquinas. Aunque se tendrá la precaución de reforzar las líneas de distribución en las inmediaciones de las aspiraciones de los ventiladores de tiro forzado para no provocar excesiva depresión.

El suministro de aire de ventilación habrá de realizarse también a través de conductos con descargas distribuidas en toda la cámara de forma que no haya zonas sin ventilación. Esta ventilación habrá de reforzarse en zonas como talleres, zona de purificadoras, etc. donde se prevé la estancia continuada de personal realizando trabajos, de manera que no se rebasen las temperaturas permisibles.

Los extractores se colocan en la parte alta de la cámara de máquinas y aspiran el aire caliente acumulado en el guardacalor. Sin embargo hay zonas que requieren que la extracción se haga localmente, para ellos se dispondrá de una red de conductos de aspiración.

En la cámara de control debido a su alto contenido de sistemas electrónicos y cuadros eléctricos se genera una gran cantidad de calor. Al ser un espacio habitado continuamente, es necesario instalar un sistema local de aire acondicionado, el cual se ha dimensionado en el punto 7.9.1 de este documento.

Por otro lado, no es normal instalar sistemas redundantes de ventilación. En caso de fallo de alguno de los ventiladores o extractores se habrá de recurrir a la circulación natural. Para ello se preverán aperturas practicables en la parte alta del guardacalor.



7.9 Servicios de habilitación

Se dimensionan en este punto los siguientes servicios de habilitación cuyos equipos (o parte de ellos) se encuentran situados en cámara de máquinas:

- Servicio de climatización
- Gambuzas refrigeradas
- Agua potable
- Agua caliente

Seguidamente se describe y dimensiona cada uno de estos sistemas:

7.9.1 Climatización: Aire acondicionado y calefacción

El sistema de climatización será centralizado y consistente en un subsistema de calefacción (con vapor como fuente de calor) y otro de aire acondicionado (eléctrico) que aportan el aire tratado a los distintos espacios.

Para los cálculos del sistema de climatización se han de medir los volúmenes de los distintos espacios a climatizar, además se necesita conocer la temperatura a mantener en cada espacio así como el volumen de aire que es renovado por hora. En la siguiente tabla se dan estos datos para los espacios de habilitación:

	Volumen total (m ³)	Temperatura (°C)	Renovaciones por hora
Camarotes	1403,7	20	10
Aseos	210,6	20	15
Pasillos	777,3	20	10
Cocina	102,3	22	30
Oficios	44,6	20	18
Comedor	223,3	20	18
Lavanderías	54,5	22	25
Salones	242,2	20	18
Gimnasio	107,2	18	15
Oficinas	195,5	21	15
Salas de control	94,0	21	15
Puente	641,8	21	15
Pañoles	202,0	20	10
Hospital y enfermería	69,1	22	20
Gambuza seca	92,1	15	10
Talleres	94,5	18	30
Espacios de maquinaria	823,6	25	10



Haciendo cálculos el caudal de aire a tratar es 72.272 m³/h. Por otra parte, el caudal de aire fresco que se introduce en cada renovación se fija en 1/3 del volumen de cada espacio.

Con esta proporción de aire exterior que se introduce en el sistema en cada renovación, la temperatura del caudal de aire a tratar a la entrada del sistema de climatización cumple que:

$$T_{in} = \frac{T_{ambiente\ externo} + 2 \cdot T_{recirculación}}{3}$$

Siendo “T_{recirculación}” la temperatura del aire que viene del local a acondicionar, esta temperatura se supone que es la que se está manteniendo en el local + 2 °C si se está enfriando y - 2 °C si se está calentando el local.

Por lo que el incremento de energía que debe sufrir el caudal de aire en el sistema de :

$$\Delta q = \rho_{aire} \cdot Q_{Local} \cdot c_{eaire} \cdot (T_{in} - T_{out})$$

La densidad y el calor específico del aire se toman constantes para todas las temperaturas e iguales a 1 kg/m³ y 0,24 kcal/kg °C. “T_{out}” es la temperatura a la salida del sistema de climatización y se toma:

- La temperatura del local +2 °C si se está calentando
- La temperatura del local - 2 °C si se está enfriando

Para asegurar que en cada local se alcance la temperatura deseada.

Calefacción

Como se ha dicho la calefacción de espacios de habitación se hará a través de la planta de vapor por lo que el caudal necesario será:

$$Q_{MV} = \frac{\Delta q}{r \cdot \eta}$$

Para incluir las pérdidas a través de los cerramientos y el rendimiento de la instalación, se supondrá un rendimiento del proceso de 0,6. La temperatura del aire exterior se toma igual a -5 °C. Una tabla que resume los cálculos es la siguiente:



	T. entrada al sistema (°C)	T. salida del sistema (°C)	Calor aportado (kcal /h)	Caudal de Vapor (kg _v /h)
Camarotes	11,7	22,0	58.020,8	130,4
Aseos	11,7	22,0	13.057,2	29,4
Pasillos	11,7	22,0	32.129,6	72,2
Cocina	13,0	24,0	13.507,6	30,4
Oficios	11,7	22,0	3.314,5	7,5
Comedor	11,7	22,0	16.612,8	37,4
Lavanderías	13,0	24,0	5.999,4	13,5
Salones	11,7	22,0	18.023,0	40,5
Gimnasio	10,3	20,0	6.217,0	14,0
Oficinas	12,3	23,0	12.510,7	28,1
Salas de control	12,3	23,0	6.325,8	14,2
Puente	12,3	23,0	41.074,6	92,3
Pañoles	11,7	22,0	8.347,7	18,8
Hospital y enfermería	13,0	24,0	6.082,6	13,7
Gambuza seca	8,3	17,0	3.191,8	7,2
Talleres	10,3	20,0	10.962,0	24,6
TOTAL			255.377,0	574,1

Para estos cálculos se han excluido los espacios de maquinaria.

Aire acondicionado

La temperatura externa se toma igual a 45 °C y la de todos los locales 22 °C por lo que las temperaturas de trabajo del sistema son:

$$T_{in} = \frac{T_{ambiente\ externo} + 2 \cdot T_{recirculación}}{3} = \frac{45 + 2 \cdot 24}{3} = 31\text{ °C}$$

$$T_{out} = T_{Local} - 2 = 20\text{ °C}$$

El calor que se debe retirar en el sistema es:

$$\Delta q = \rho_{aire} \cdot Q_{total} \cdot c_{eaire} \cdot (T_{in} - T_{out}) = 1 \cdot 72.272 \cdot 0,24 \cdot (20 - 31) = -190.798 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

Si se selecciona un refrigerante con un calor de vaporización de 28 kcal/kg y una potencia de circulación y compresión necesaria de 3,5 kcal/kg, todo ello a una presión que haga que el proceso se realice a 15°C, el caudal másico de refrigerante sería:



$$Q_M = \frac{\Delta q}{28} = \frac{190.798}{28} = 6.814 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Suponiendo un rendimiento del compresor y la bomba de circulación del circuito de refrigeración del 80 % la potencia consumida es:

$$P = \frac{3,5 \cdot 6.814}{0,8} = 29.812 \frac{\text{kcal}}{\text{h}} = \mathbf{37,10 \text{ kW}}$$

La potencia de los ventiladores y extractores para hacer circular el caudal de aire en ambos sistemas de climatización suponiendo que trabajan con un salto de presión de 65 mm de c.a. y un rendimiento total de 0,7 se puede estimar a través de la siguiente expresión:

$$P(\text{kW}) = 0,2 \cdot \frac{Q \cdot \Delta p}{\eta} = 2 \cdot 0,2 \cdot \frac{\frac{72.272}{3.600} \cdot 0,065 \cdot 9,8 \cdot 1.000}{0,7} = \mathbf{7,31 \text{ kW}}$$

Se dispondrán dos equipos completos instalados en paralelo de ventiladores y extractores con capacidad unitaria para hacer funcionar el sistema a plena capacidad.

7.9.2 Cámaras refrigeradas (gambuzas)

Considerando un consumo de 10 kilogramos de provisiones por persona y día y suponiendo una autonomía máxima de 50 días se tiene que en gambuzas ha de haber una cantidad de provisiones de 18 toneladas.

Balance Térmico

La temperatura a mantener en la gambuza refrigerada se toma igual a -10 °C, para el dimensionamiento del equipo de refrigeración se hace el balance térmico en 24 horas:

- **Enfriamiento de la carga:** Se supone que la carga llega a bordo a una temperatura máxima de 10 °C y que hay que llevarla hasta la temperatura de gambuzas en un periodo de 24 horas. Estimando el calor específico de la carga en 1 kcal/kg °C se tiene que el calor a retirar es:

$$q = 18.000 \cdot 1 \cdot 20 = 360.000 \text{ kcal}$$

A esto hay que añadir la refrigeración necesaria para congelar la masa de provisiones, tomando un calor latente de congelación medio igual a 70 kcal/kg, se tiene que:

$$q = 18.000 \cdot 70 = 1.260.000 \text{ kcal}$$

- **Pérdidas a través de paredes y cerramientos:** Se estima que la cantidad de calor que entra a través de la superficie que limita la cámara frigorífica es 190 kcal/m², la superficie que limita el volumen de gambuzas es de 110 m² por lo que el calor que entra es:



$$q = 190 \cdot 110 = 20.900 \text{ kcal}$$

A esta cantidad hay que añadirle un 25 % por la apertura de puertas (servicio normal) por lo que el calor que entra a través de los cerramientos es:

$$q = 1,25 \cdot 20.900 = 26.125 \text{ kcal}$$

La capacidad total de refrigeración en 24 horas es 1.646.125 kcal por lo que se requiere una potencia de refrigeración de 68.589 kcal/h.

Potencia del equipo de refrigeración

Haciendo uso del catalogo de productos de la empresa "Frimetal" se obtiene la potencia necesaria del evaporador y del condensador de la instalación a partir de la capacidad frigorífica y de la temperatura a mantener en el interior de las gambuzas, estas potencias son:

- Evaporador: Se disponen cuatro evaporadores modelo FRM 114 con una potencia nominal total de 22,83 kW que cubren sobradamente con las necesidades de refrigeración.
- Condensador: Se instala el modelo CB 76 que centraliza la condensación del refrigerante con una potencia eléctrica nominal de 15,20 kW, la refrigeración del condensador se hace a través de aire que es tomado directamente del exterior por lo que no se requiere para este servicio el sistema de refrigeración central por agua salada del buque.

Todo ello, tomando como refrigerante el R-404-A, con una temperatura a mantener de -10° C y humedad relativa en las gambuzas del 80 %. La potencia eléctrica total del equipo es igual a **38,03 kW**.

7.9.3 Agua potable

El consumo de agua potable se establece en 200 litros por persona y día, esto supone un consumo total de 7.200 l/día = 300 l/h = 0,3 m³/h. Las bombas que deben llevar el agua hasta los distintos puntos de consumo desde el tanque de almacenamiento de agua potable, se dimensionan para una capacidad de 5 veces el consumo horario de agua potable, que se supone que es el momento de máximo consumo del día y que supone un caudal de 1,5 m³/h.

Los tanques de almacenamiento de agua potable se disponen a popa de la cámara de máquinas y tienen una capacidad total de 460,2 m³ lo que dota al buque de una autonomía de 64 días en este sentido.

La presión que deben aportar estas bombas es de 27 m.c.a. (máxima altura a la que se encuentran los puntos de consumo con respecto a los tanques de almacenamiento+ pérdidas de carga). Con todo ello, y suponiendo un rendimiento de 0,6, la potencia eléctrica que absorben las bombas a su plena capacidad es:

$$P = \frac{Q \cdot p}{\eta} = \frac{1,500}{3,600} \cdot 27 \cdot 9,81 \cdot 1.000}{0,60} = \mathbf{0,18 \text{ kW}}$$



7.9.4 Agua caliente

La energía necesaria para este servicio será obtenida a través de la planta de vapor del buque, la tripulación máxima que puede haber a bordo son 36 personas, suponiendo unas necesidades de agua caliente por persona y día de 125 litros, es necesario un consumo de 4.500 l/día = 187,5 l/h.

El sistema se dimensiona para que tenga capacidad de abastecimiento en el momento de consumo máximo del día que se supone que es cinco veces el consumo horario de agua caliente, lo que resultan 750,0 l/h.

Suponiendo una temperatura mínima del agua de entrada al sistema de 10 °C y una temperatura final de 55 °C (en grifos se tendrá unos 52-53 °C) la energía a suministrar por el sistema de calentamiento por vapor es:

$$q = 1.000 \cdot 0,750 \cdot 1 \cdot (55 - 10) = 33.750 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

Y el caudal de vapor necesario:

$$Q_{MV} = \frac{33.750}{494,2} = 68,3 \frac{\text{kg}_V}{\text{h}}$$

Para llevar el agua caliente a los distintos puntos de consumo se dispone de dos bombas (una de ellas de respeto) con capacidad para un caudal de 0,750 m³/h y un salto de presión de 27 m.c.a que es la altura máxima, con respecto a los tanques de almacenamiento de agua dulce, a la que se encuentran los servicios de agua caliente (puente de gobierno), también se han considerado las pérdidas de carga. La potencia de estas bombas ha de ser:

$$P = \frac{Q \cdot p}{\eta} = \frac{\frac{0,750}{3.600} \cdot 27 \cdot 9,81 \cdot 1.000}{0,60} = 0,10 \text{ kW}$$



7.10 Servicios ecológicos

Se llaman así a los servicios implicados en el tratamiento y descarga de los desperdicios que se generan a bordo del buque. Son los siguientes:

- Planta de tratamiento de aguas
- Sistema de sentinas o achique
- Incineradores

Seguidamente se analizará cada uno de ellos

7.10.1 Planta de tratamiento de aguas residuales

Bajo este sistema están los equipos cuyo objetivo es el tratamiento de aguas grises (lavabos, duchas, etc.) y de aguas negras (de los W.C.) antes de su descarga al mar, previniéndose así la contaminación del puerto y las aguas litorales

La descarga de aguas sucias se rige por el Anexo IV de MARPOL que solo permite la descarga de aguas sucias al mar siempre que se haga a una distancia superior a 4 millas de la tierra más próxima si han sido anteriormente desmenuzadas y desinfectadas, es decir tratadas con la planta de tratamiento de aguas.

Estas plantas usan el principio aeróbico de digestión de aguas negras y grises acoplado con el tratamiento del efluente final.

El sistema de descarga a los tanques de aguas grises y negras es mixto, ya que los inodoros descargan en vacío (consumo de agua de 1,5 litros) y los lavabos y duchas descargan por gravedad a sus respectivos tanques.

La capacidad unitaria de ambos tanques es de 90 m^3 y están situados en el doble fondo de la cámara de máquinas. La planta de tratamiento debe tener capacidad para $0,8 \text{ m}^3/\text{h}$, puesto que el consumo de agua dulce a bordo es de $0,5 \text{ m}^3/\text{h}$ y se estima que todo el sistema tiene una potencia eléctrica nominal de **5,00 kW**.

7.10.2 Sistema de sentinas o achique

Todos los espacios cerrados del buque que no dispongan de medios de vaciado propios por su función, deben disponer de una conexión al sistema de achique capaz de achicar el agua de dichos espacios en caso de inundación, este sistema es de obligada instalación como se indica en el Anexo I de MARPOL. Los espacios altos dispondrán de un sistema de imbornales capaz de evacuar el agua acumulada en ellos hacia los locales bajos, los cuales serán achicados por el sistema de sentinas.

El sistema de sentinas se subdivide en dos subsistemas, cada uno de ellos capaz de achicar los espacios en distintas condiciones:

- Achique de emergencia, capaz de achicar los espacios en caso de emergencia por inundación.



- Achique de aguas sucias o sentinas, que achica agua sucia acumulada en los espacios. Las aguas sucias acumuladas pueden ser originadas por fugas de líquido en caso de reparaciones o mantenimiento o simplemente el producto de procesos de limpieza de los espacios.

Para ello, los espacios bajos dispondrán de un sistema de tuberías que permita achicar el agua acumulada en los mismos. Este sistema está formado por los siguientes elementos:

- Pocetes de sentinas: Todos los espacios a proteger por el sistema disponen de cajas en el piso donde se acumula el agua, de modo que permita la succión de la misma. Se dimensionarán en función del tamaño del local y su número y disposición será tal que permitan achicar el agua del espacio en cualquier condición de escora o asiento del buque. Por regla general se disponen pocetes a proa y popa del local así como en ambos costados.
- Ramales de succión: se dispondrán ramales para cada uno de los pocetes dispuestos en el buque, estos ramales permitirán achicar el agua acumulada en los pocetes.
- Colector de sentinas: todos los ramales de succión se conectarán a un colector común por donde se succionará para achicar el agua.
- Bombas de sentinas: Se dispondrán 2 bombas de sentinas con capacidad suficiente para achicar el agua de los distintos espacios.
- Válvula de no retorno: los ramales a los pocetes dispondrán de válvula de no retorno para impedir que se produzca retorno de agua desde los espacios inundados a espacios secos.
- Filtro: Se dispondrá en todos los ramales de sentinas un filtro para separar los elementos sólidos.
- Separador de sentinas: este equipo succiona del colector de sentinas y procede a la depuración del agua sucia separando los elementos pesados del agua. Los elementos pesados se descargan al tanque de lodos.
- Bomba de lodos: bomba que debe ser capaz de succionar el agua sucia de los tanques de lodos y sentinas y descargarlo a puerto para su posterior tratamiento.
- Medidor de contenido de aceite: A la salida del separador se dispone un equipo que mide el contenido de hidrocarburos. Si el contenido fuese menor a 15 ppm se puede descargar el agua al mar, sino se debe almacenar en el tanque de sentinas.

Para el dimensionamiento del sistema se acude al reglamento de la sociedad de clasificación, concretamente a la Parte 5 - Capítulo 13 - Sección 5.3, donde se especifica que el diámetro del colector de sentinas ha de ser:

$$d(\text{mm}) = 1,68 \cdot \sqrt{L \cdot (B + D)} + 25 = 1,68 \cdot \sqrt{260,0 \cdot (47,0 + 24,4)} + 25 = 254 \text{ mm}$$

Se tomará un diámetro de 260 mm para seguir con los cálculos, la capacidad mínima de sentinas ha de ser:

$$Q = \frac{0,565}{1.000} \cdot d^2 = \frac{0,565}{1.000} \cdot 260^2 = 38,19 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$



Se instalarán dos bombas de 45 m³/h a una presión de 35 m.c.a. para tener un cierto margen; Suponiendo un rendimiento de las bombas de 0,6 la potencia eléctrica que absorbe cada una de ellas es:

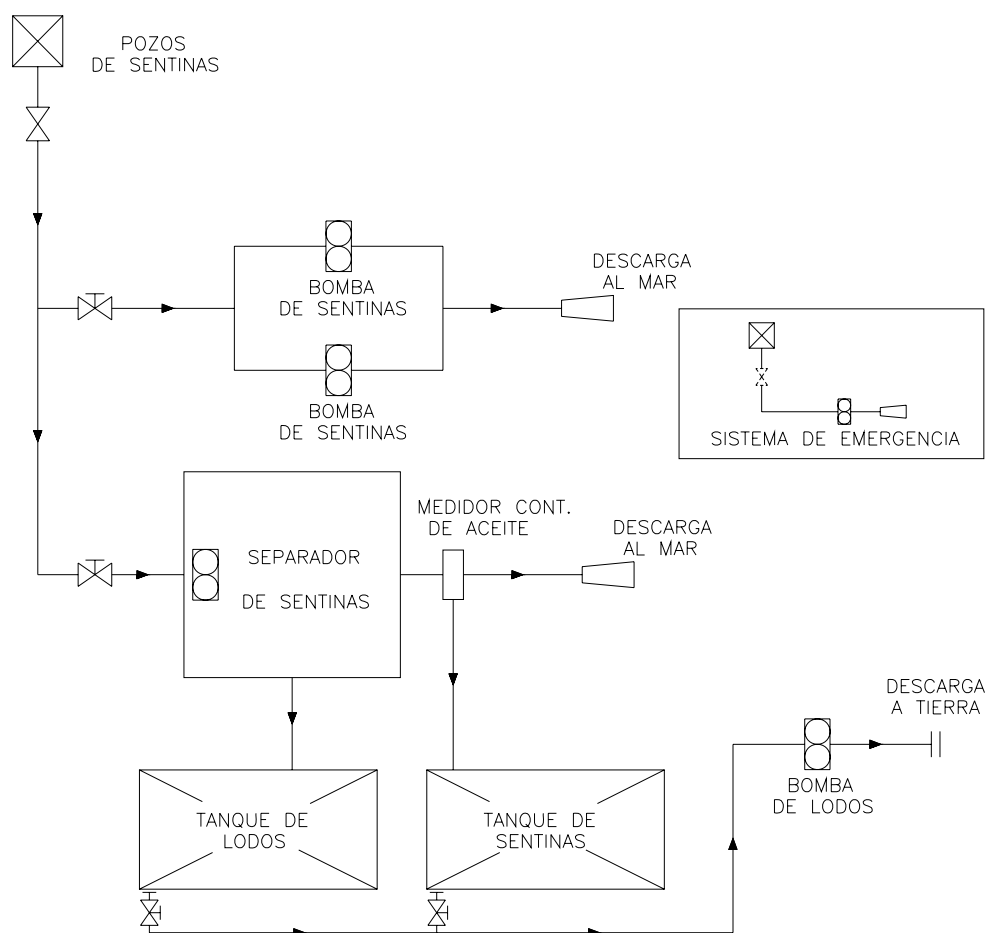
$$p = \frac{Q \cdot p}{\eta} = \frac{45,0}{3.600} \cdot 35 \cdot 9,81 \cdot 1.000}{0,60} = 7,15 \text{ kW}$$

Con respecto a la bomba de lodos, esta fue dimensionada en el punto 7.1.1. y su potencia nominal es **15,77 kW**.

Se instala un separador de sentinas de ALFA LAVAL, modelo EcoStream cuyo consumo de potencia eléctrica es 12,00 kW. Con lo cual el consumo eléctrico total del sistema de sentinas, sin contar la bomba de lodos, es de 12,00 + 7,15 = **19,15 kW**. La potencia del sistema de emergencia se estima en **10,00 kW**.

Los tanques de lodos y sentinas son iguales y cuentan con una capacidad de **41,9 m³**, están dispuestos en el doble fondo de forma simétrica con respecto a crujía justo a proa de la bancada del motor propulsor.

El esquema de la instalación es el siguiente:





7.10.3 Incinerador

La función principal de este equipo es quemar los desperdicios que se generan a bordo, estos sistemas deben cumplir con lo establecido en el Anexo V de MARPOL. Los desperdicios pueden ser:

- Sólidos: Se suelen almacenar en bolsas, las cuales son introducidas en el incinerador que las quema en unos 5 – 10 minutos.
- Líquidos: También puede estar preparado para quemar desperdicios líquidos, mediante el uso de un quemador especial, estos desperdicios se bombean desde el tanque de lodos con un caudal adecuado a su capacidad.

Una vez han sido quemados los desperdicios y el incinerador ha sido refrigerado, las cenizas y los materiales no quemados son retirados de la cámara de combustión.

El incinerador se sitúa en un local de la superestructura del guardacalor y chimenea.



7.11 Balance de vapor

Para llevar a cabo el balance de vapor se suponen cuatro situaciones de consumo de vapor que son las siguientes:

- Navegación: Será la situación en la que el buque se encuentre la mayor parte de su tiempo, por lo que es necesario que esté optimizada, en ella se encuentran operando los principales elementos del sistema de combustible pesado, lubricación y los equipos que operan para los servicios de habilitación.
- Navegación calentado carga: Un tiempo antes de llegar a la terminal de descarga el buque empieza a calentar su carga para que cuando llegue el momento de la descarga, el petróleo se encuentre a una temperatura suficiente que haga que su viscosidad sea adecuada para el bombeo.
En esta situación, al consumo de vapor de la situación de navegación se le suma el necesario para calentar la carga.
- Descargando en puerto: En esta situación el motor principal se encuentra parado por lo que la caldereta de gases de escape ha de funcionar con su sistema de mecheros.
El sistema de calefacción de la carga se supone que solo opera al 10% para cubrir las pérdidas de calor a través de los cerramientos de los tanques. Las tres turbobombas de descarga operan al 100 % para realizar la descarga de petróleo hacia la terminal.
- Cargando en puerto: La carga de petróleo se lleva a cabo a través de medios externos al buque, por lo que no se necesita energía para esta función. Esta será la situación menos exigente en cuanto a consumo de vapor puesto que solo están operativos los servicios de habilitación y los de combustible de los motores auxiliares y calderas que estén operativas.

En todas estas situaciones se suponen unas pérdidas del 5 por mil del consumo total.

Para llevar a cabo el balance de vapor se han afectado todos los consumidores de dos coeficientes en función de la situación que son:

- Coeficiente de simultaneidad " K_s ": Cuando hay varios consumidores de un mismo servicio se utiliza para indicar que no todos ellos se encuentran operando en esa situación, es útil sobre todo cuando hay elementos de respeto en los distintos sistemas.
- Coeficiente de potencia " K_p ": Indica el porcentaje de potencia sobre su consumo nominal máximo que utiliza cada servicio en una determinada situación.

La siguiente tabla recoge todos los consumidores así como su número y consumo de vapor que se han ido definiendo a lo largo de los puntos anteriores. También se indica el valor considerado para los coeficientes de simultaneidad y de potencia así como el consumo total de vapor en cada situación:



Consumidores	Num.	Consumo Unitario (kg _v /h)	Consumo Total (kg _v /h)	NAVEGACIÓN			CALENTANDO CARGA (NAV.)			DESCARGANDO EN PUERTO			CARGANDO EN PUERTO		
				K _S	K _P	Consumo (Kg _v /h)	K _S	K _P	Consumo (kg _v /h)	K _S	K _P	Consumo (kg _v /h)	K _S	K _P	Consumo (kg _v /h)
Tanques almacén HFO	1	5.165,7	5.165,7	0,2	1,0	1.033,1	0,2	1,0	1.033,1	0,2	1,0	1.033,1	0,2	1,0	1.033,1
Tanque sedimentación HFO	1	325,4	325,4	1,0	1,0	325,4	1,0	1,0	325,4	1,0	1,0	325,4	1,0	1,0	325,4
Calentadores depuradoras HFO	2	301,6	603,2	0,5	0,8	241,3	0,5	0,8	241,3	0,5	0,6	181,0	0,5	0,6	181,0
Tanques de S.D. HFO de m. p. y auxiliares	2	272,8	545,6	1,0	0,8	436,5	1,0	0,8	436,5	1,0	0,6	327,4	1,0	0,6	327,4
Tanques S.D. HFO calderas	2	522,4	1.044,8	0,0	0,0	0,0	0,5	0,8	417,9	1,0	0,8	835,8	0,5	0,5	261,2
Colector de retornos HFO	1	1,7	1,7	1,0	0,4	0,7	1,0	0,4	0,7	1,0	0,4	0,7	1,0	0,4	0,7
Calentador alimentación HFO Motor principal	1	69,0	69,0	1,0	1,0	69,0	1,0	1,0	69,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Calentador alimentación HFO Calderas	2	120,6	241,2	0,0	0,0	0,0	0,5	0,8	96,5	1,0	0,8	193,0	0,0	0,0	0,0
Calentador alimentación HFO Auxiliares	1	46,8	46,8	1,0	0,4	18,7	1,0	0,4	18,7	1,0	1,0	46,8	1,0	1,0	46,8
Tanque de reboses y derrames HFO	1	839,5	839,5	1,0	0,2	167,9	1,0	0,2	167,9	1,0	0,2	167,9	1,0	0,2	167,9
Tanque de lodos	1	1.394,4	1.394,4	1,0	0,2	278,9	1,0	0,2	278,9	1,0	0,2	278,9	1,0	0,2	278,9
Calentador depuradora de aceite (m.p.)	2	107,0	214,0	0,5	0,8	85,6	0,5	0,8	85,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Bombas descarga	3	20.945,1	62.835,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	62.835,3	0,0	0,0	0,0
Bomba de agotamiento carga	1	1.795,6		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		1,0	0,2	359,1	0,0	0,0	0,0
Calefacción carga	1	39.028,5	39.028,5	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	39.028,5	1,0	0,1	3.902,9	0,0	0,0	0,0
Calefacción habilitación	1	574,1	574,1	0,5	0,7	196,0	0,5	0,8	229,6	0,5	0,8	229,6	0,5	0,8	229,6
Agua caliente habilitación	1	68,3	68,3	1,0	0,5	34,2	1,0	0,5	34,2	1,0	0,5	34,2	1,0	0,5	34,2
Generador de agua dulce	2	927,5	1.855,0	0,5	0,8	742,0	0,5	0,8	742,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Pérdidas del sistema	1	5 por mil	5 por mil	1,0	1,0	18,4	1,0	1,0	216,1	1,0	1,0	353,7	1,0	1,0	14,6
				TOTAL		3.647,3	TOTAL		43.416,1	TOTAL		71.099,0	TOTAL		2.894,8



Tanto en la situación de navegación como en la de carga en puerto solo estará operativa la caldereta de gases de escape, funcionando en puerto con el sistema de mecheros puesto que el motor principal está parado en esta situación.

La caldereta tiene una capacidad de generación de vapor a 7 kgf/cm² de 3.696 kgv/h por lo que es suficiente para cubrir las necesidades de vapor en la situación de navegación, el sistema de mecheros para la situación de carga en puerto se puede adaptar para que tenga la misma capacidad que cuando funcione con los gases de escape del motor principal.

Además en la especificación del proyecto se requiere “Analizar la posibilidad de navegar con turbogenerador con el vapor sobrante de la caldereta de los gases de escape”. Esta posibilidad no es viable ya que apenas sobran 49 kgv/h de los 3.696 kgv/h que puede generar la caldereta en esta situación.

Para la situaciones de calentamiento de carga en navegación y la de descarga en la terminal se han de disponer de dos calderas principales, que convendría fuesen de la misma capacidad para facilitar su mantenimiento e instalación a bordo.

Analizando el balance de vapor se decide disponer dos calderas con una capacidad de producción de vapor saturado seco a 7 kgf/cm² de **42.000 kgv/h**, de modo que en la situación de calentamiento de la carga se usará una de ellas junto con la caldereta de los gases de escape y en la de descarga en puerto se utilizarán las dos. Un resumen con el régimen al que operaran los disntintos generadores de vapor en cada situación es:

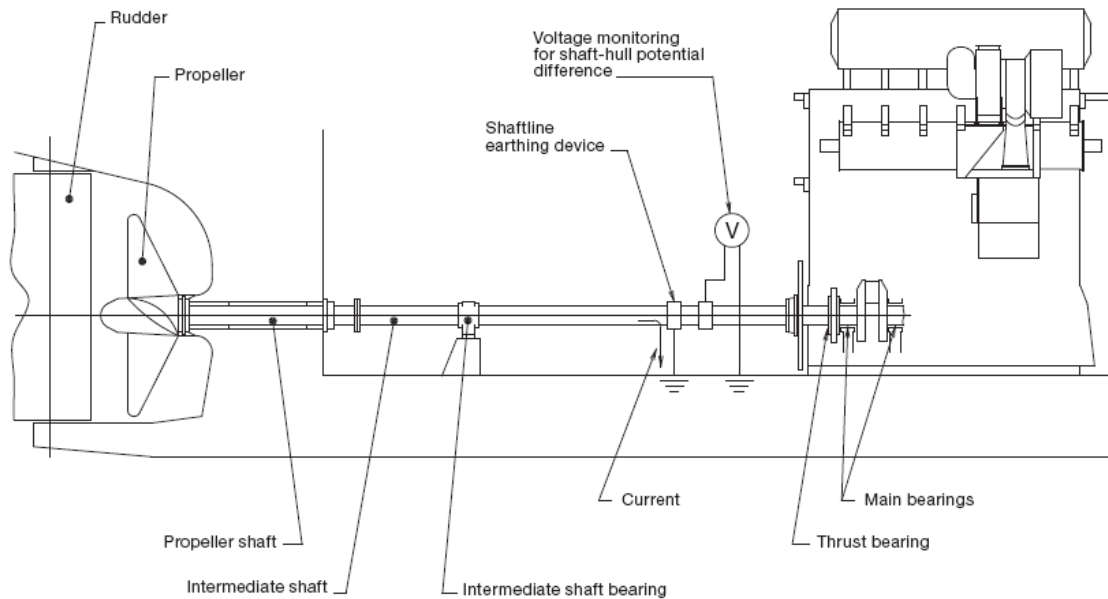
	NAVEGACIÓN	CALENTANDO CARGA (NAV.)	DESCARGANDO EN PUERTO	CARGANDO EN PUERTO
Caldereta	99%	99%	0%	78% (con mecheros)
Caldera 1	0%	95%	85%	0%
Caldera 2	0%	0%	85%	0%

Las características principales de estas calderas se describen en el punto 5 de este documento.



7.12 Línea de ejes

La longitud total de la línea de ejes desde el acoplamiento del motor hasta el acoplamiento con el propulsor es 13,81 metros. Esta longitud se divide en dos ejes cuya disposición será tal y como indica el fabricante del motor en su libro de especificación:



De este modo las longitudes de ambos ejes de acuerdo a la disposición del buque proyecto es:

Eje intermedio	8,10 metros
Eje de cola	5,71 metros

La sociedad de clasificación establece en su reglamento (Parte 5, capítulo 6, Sección 3) el diámetro mínimo que deben tener estos ejes:

Eje intermedio

$$d_{\min}(\text{mm}) = F \cdot k \cdot \sqrt[3]{\frac{P}{R} \cdot \frac{560}{\sigma_u + 160}}$$

Donde:

“F” es un factor que depende del accionamiento	100
“k” factor que depende del tipo de acoplamiento	1,00
“P” potencia nominal del motor	21.770 kW
“R” revoluciones nominales del motor	91 rpm



“ σ_u ” Es la tensión de rotura
del material del eje para
acero se supone un valor
máximo de

$$600 \text{ N/mm}^2$$

Por lo que el diámetro mínimo del eje intermedio ha de ser de:

$$d_{\min}(\text{mm}) = 100 \cdot 1,00 \cdot \sqrt[3]{\frac{21.770}{91} \cdot \frac{560}{600 + 160}} = 561 \text{ mm}$$

Para dejar un cierto margen se tomará un diámetro de 600 mm para este eje.

Eje de cola

El diámetro mínimo de este eje se determina a través de la misma expresión que el del eje intermedio pero con $k=1,15$, por lo que el diámetro mínimo es:

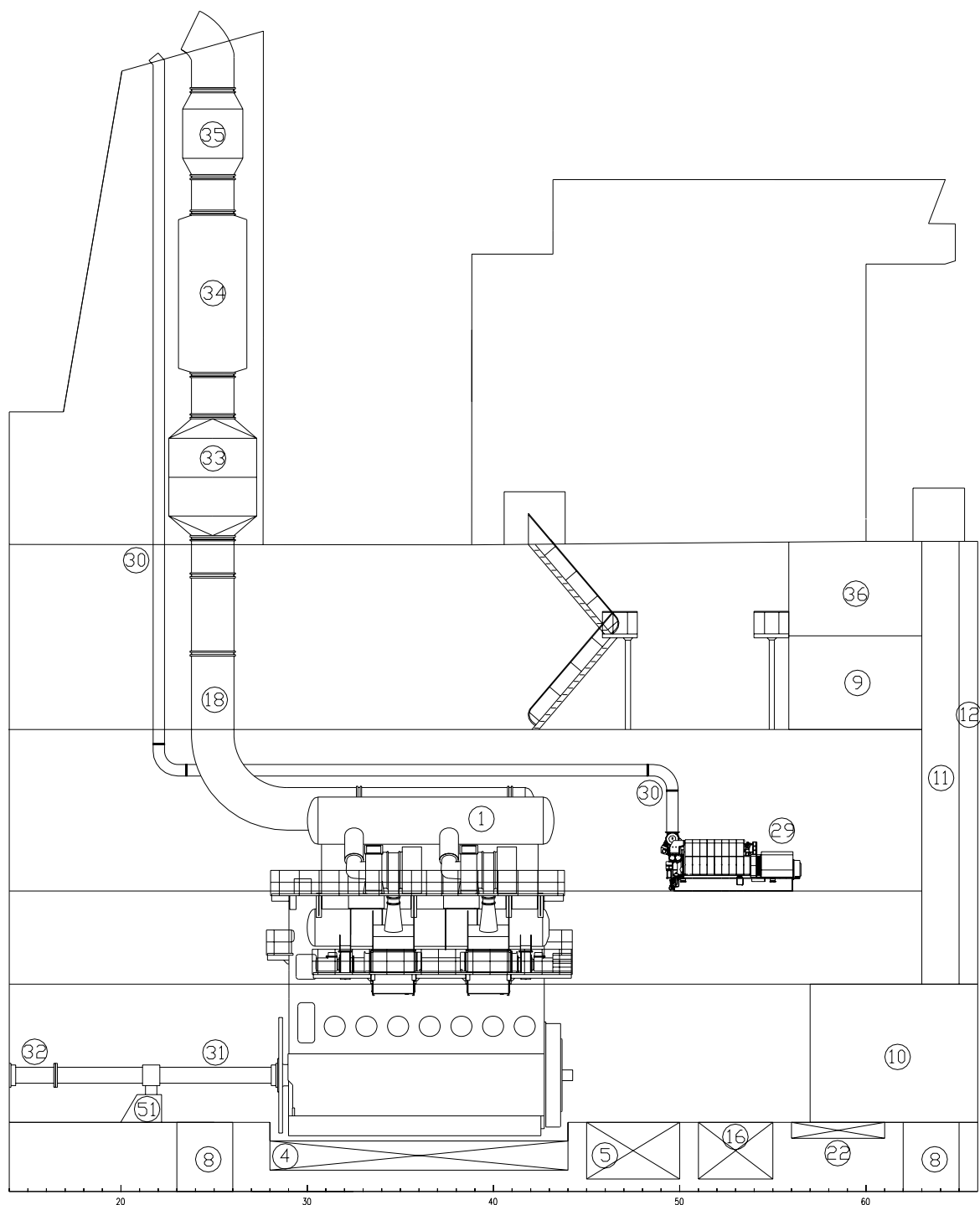
$$d_{\min} = 100 \cdot 1,15 \cdot \sqrt[3]{\frac{21.770}{91} \cdot \frac{560}{600 + 160}} = 645 \text{ mm}$$

Al igual que en el caso anterior se toma un cierto margen y se adopta un diámetro de 690 mm para este eje.



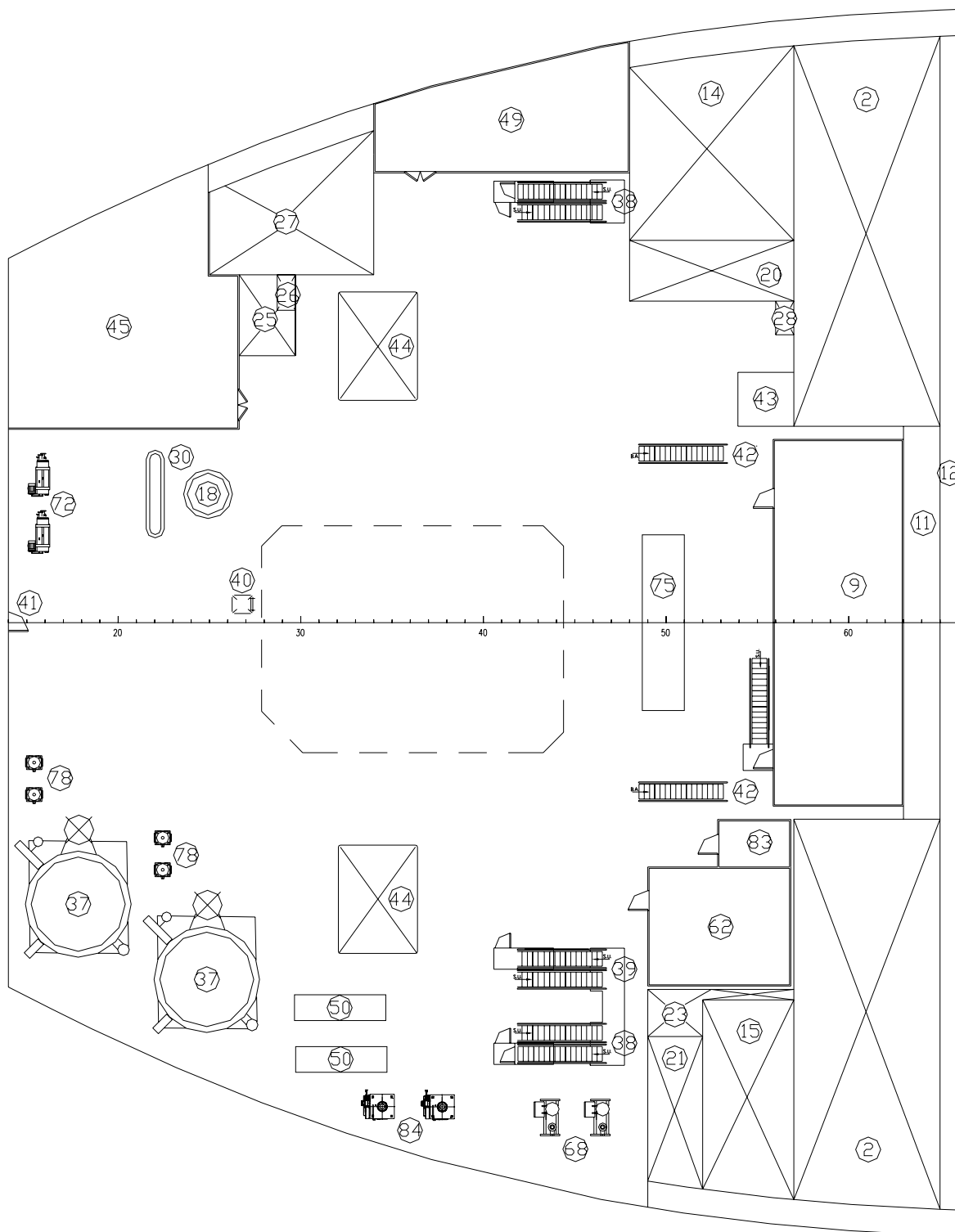
8 DISPOSICIÓN GENERAL DE LA CÁMARA DE MÁQUINAS

Seguidamente se presentan unos cortes de la cámara de máquinas donde se muestra la disposición de equipos y espacios.



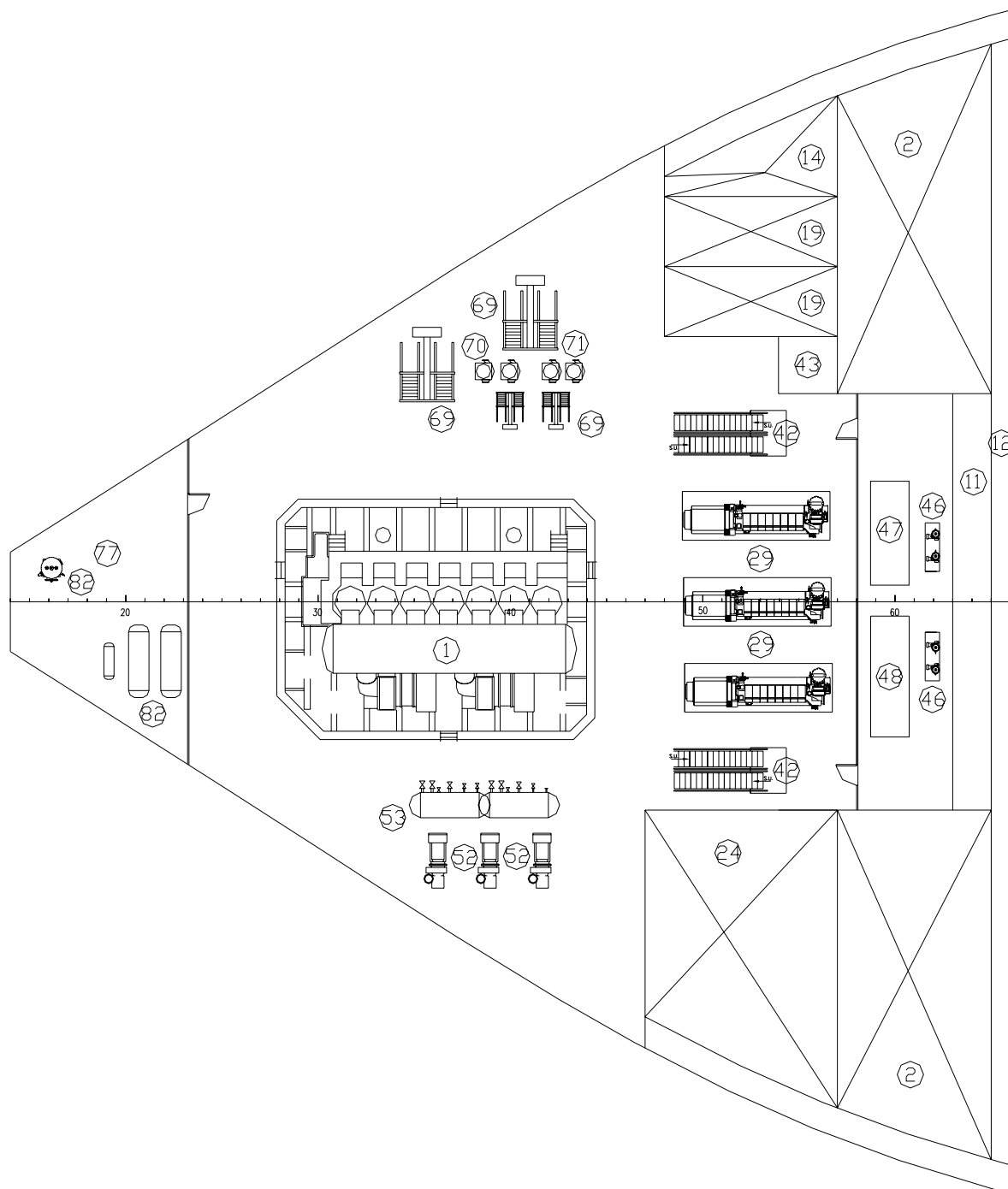


Tercera plataforma (altura sobre la línea de base 17,37 metros)



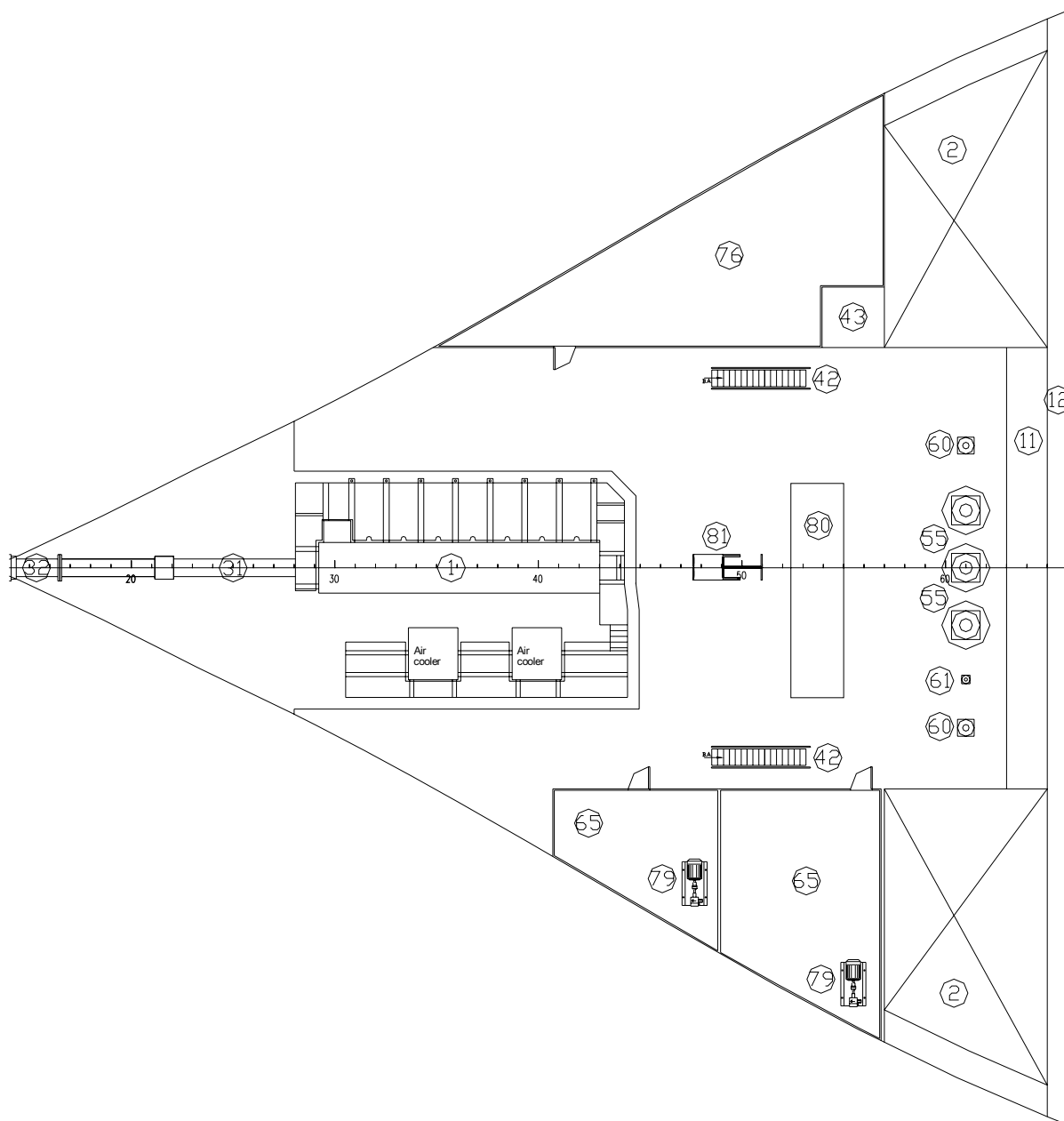


Segunda plataforma (altura sobre la línea de base 11,30 metros)



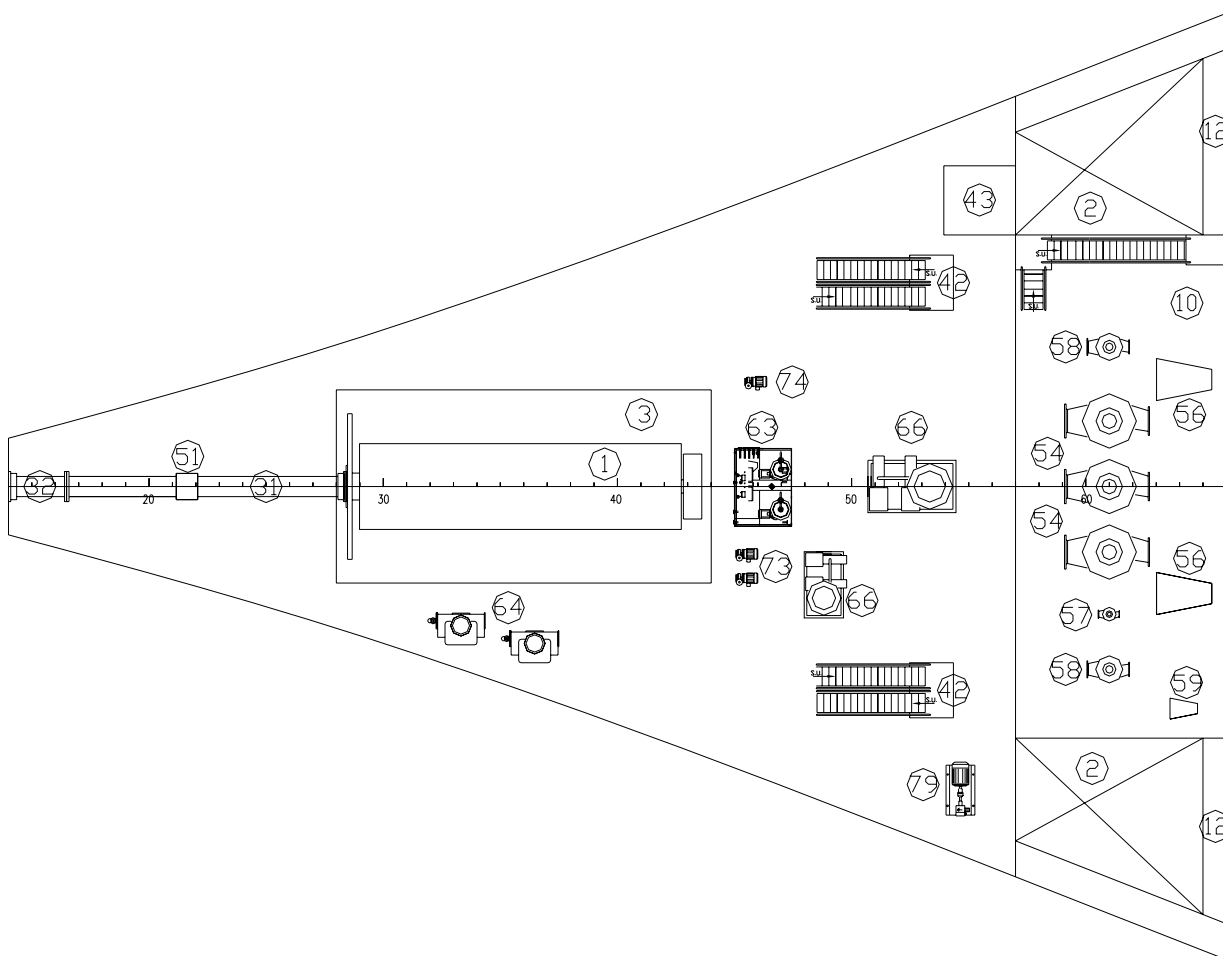


Primera plataforma (altura sobre la línea de base 7,80 metros)



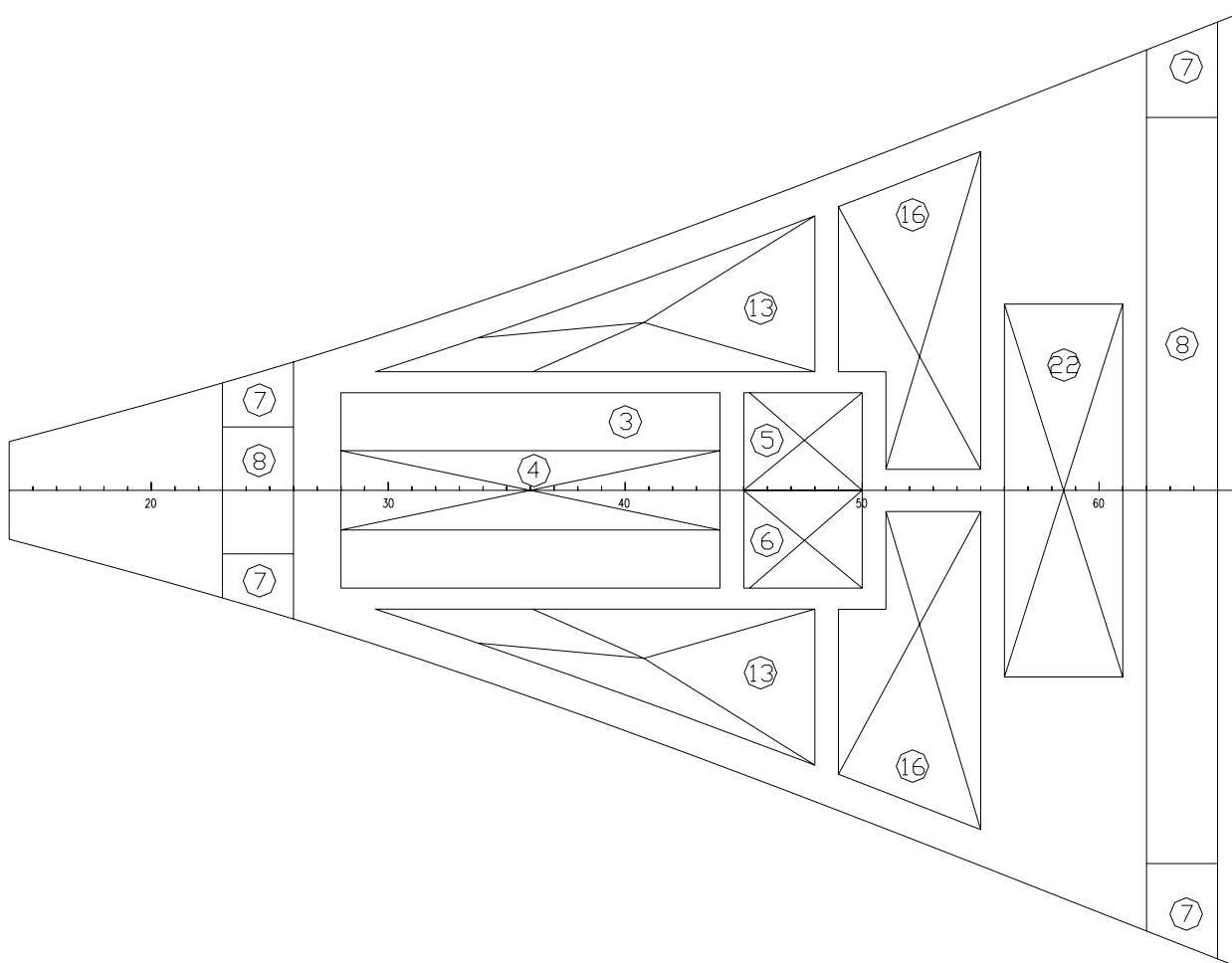


Suelo cámara de máquinas (altura sobre la línea de base 2,60 metros)





Techo del doble fondo (altura sobre la línea de base 2,60 metros)





9 LISTADO DE TODOS LOS ELEMENTOS INSTALADOS Y REPRESENTADOS

En la siguiente tabla se enumeran todos los elementos que se han dispuesto en los anteriores planos, los cuales están identificados por un número.

Identificador	Elemento
1	Motor propulsor
2	Tanques almacenamiento HFO (4,5 % cont en Azufre)
3	Bancada motor propulsor
4	Tanque se servicio sist. Lubricación del cárter del motor propulsor
5	Tanque de lodos
6	Tanque de sentinas
7	Tomas de mar
8	Colector tomas de mar
9	Sala de control
10	Sala de bombas
11	Escalera de acceso desde cubierta principal a cámara de bombas
12	Cofferdam entre zona de carga y cámara de máquinas
13	Tanques auxiliares sistema lubricación cárter motor principal
14	Tanque almacenamiento HFO (1,5 % cont en Azufre)
15	Tanque almacenamiento HFO (0,1 % cont en Azufre)
16	Tanque de aguas negras
17	Tanque de aguas grises
18	Conducto de exhaustación del motor principal
19	Tanques de servicio diario de HFO del motor principal y auxiliares
20	Tanque de sedimentación de HFO
21	Tanque de servicio diario de HFO de calderas
22	Tanque de reboses y derrames de HFO
23	Tanque de servicio diario de MDO
24	Tanque almacén de MDO
25	Tanques de almacenamiento de aceite lubricante de camisas
26	Tanque de servicio de aceite lubricante de camisas
27	Tanque de aceite de motores auxiliares
28	Tanque auxiliar de MDO para arranque de un grupo generador
29	Motores auxiliares
30	Conductos de exhaustación de los motores auxiliares
31	Eje de transmisión intermedio
32	Eje de cola
33	Caldereta de gases de escape (motor principal)
34	Silenciador (motor principal)
35	Equipo apaga chispas (motor principal)
36	Local eléctrico de cámara de máquinas
37	Calderas principales
38	Escaleras de acceso desde la cubierta principal
39	Escalera de acceso desde el taller de cubierta
40	Acceso desde la superestructura del guardacalor y chimenea
41	Puerta de acceso al local del servo



Identificador	Elemento
42	Escaleras de comunicación entre plataformas
43	Montacargas de cámara de máquinas
44	Escotillas
45	Taller de cámara de máquinas
46	Purificadoras de HFO
47	Módulo de alimentación de los motores auxiliares
48	Módulo de alimentación del motor principal
49	Taller eléctrico
50	Módulos de alimentación de las calderas principales
51	Chumacera de apoyo
52	Compresores de aire
53	Botellas de aire comprimido
54	Turbobombas de carga
55	Turbinas de las bombas de carga
56	Eyectores de carga
57	Bomba de agotamiento de los tanques de carga
58	Bombas de lastre
59	Eyector de lastre
60	Accionadores bombas de lastre
61	Accionador bomba de agotamiento de los tanques de carga
62	Pañol eléctrico
63	Purificadora de aceite de cárter del motor principal
64	Generadores de agua dulce
65	Local contraincendios
66	Planta de tratamiento de aguas residuales
67	Separador de sentinas
68	Calentadores de agua de habilitación
69	Intercambiadores de calor del sistema de refrigeración central
70	Bombas de agua salada del sist. de refrigeración central
71	Bombas de agua dulce del sist. de refrigeración central
72	Sistema de potabilización de agua dulce
73	Bombas de sentinas
74	Bomba de lodos
75	Módulo de lubricación de los motores auxiliares
76	Pañol de maquinaria
77	Local equipos auxiliares de la planta de vapor
78	Bombas de alimentación de agua de calderas
79	Bombas sistema contraincendios de agua salada
80	Módulo de lubricación del motor principal
81	Enfriador de aceite
82	Condensadores de vapor
83	Aseos
84	Estaciones de potencia de sistemas hidráulicos de cubierta



10 CONCLUSIONES

En este cuaderno se han definido parte de los equipos que el buque debe llevar a bordo, sobre todo aquellos que de una manera u otra están relacionados con la cámara de máquinas; El resto de equipos y sistemas se van a definir en los cuadernos 10 y 11 de proyecto.

El objetivo principal de la definición y dimensionamiento de los distintos equipos es poder estimar los consumos totales de vapor y electricidad, que son los principales medios de transferencia de energía a bordo.

A partir de los resultados obtenidos, se procede a la definición de la planta de vapor (punto 7.11 de este documento) y de la planta eléctrica (Cuaderno 11 de proyecto).

La disposición general de la cámara de máquinas se presenta en un plano a parte en formato A1 y a escala 1:250.



11 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Durante el desarrollo de todo el proyecto se ha hecho uso de una serie de referencias bibliográficas, las cuales se enumeran a continuación:

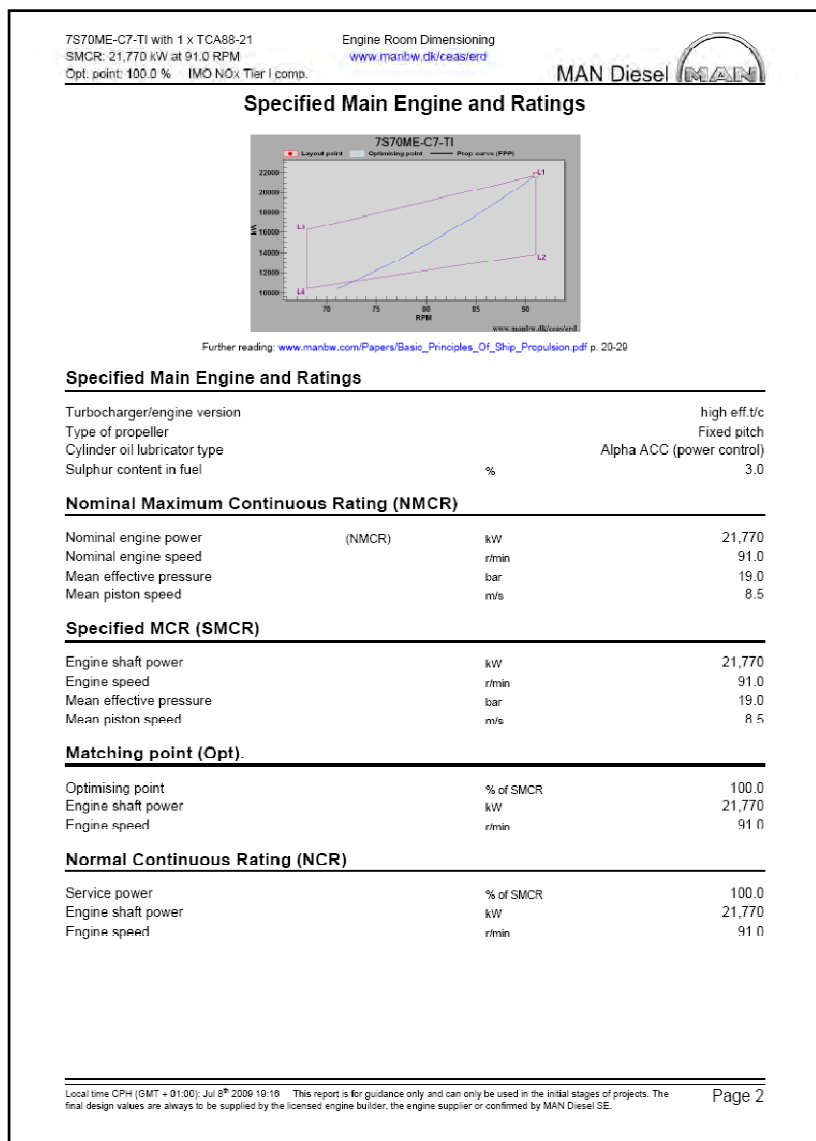
- [1] Ricardo Alvariño Castro, Juan José Azpíroz y Manuel Meizoso..; *“El proyecto básico del buque mercante”*, Ed. Fondo Editorial de Ingeniería Naval; Pub. 2007.
- [2] Lamb, Thomas (Written by an international group of authorities); *“Ship design and construction”*, Ed. Society of Naval Architects and Marine Engineers; Pub 2004.
- [3] Holtrop, J. y Mennen G.G.J.; *“An approximate power prediction method”*, International Shipbuilding Progress; Pub 1982.
- [4] Antonio Vaquero; *“Teoría del buque. Lecciones de resistencia al avance”*, Departamento de Artes Gráficas E.T.S.I.N.; Edición 2002.
- [5] Antonio Vaquero; *“Teoría del buque. Introducción a la propulsión de buques”*, Departamento de Artes Gráficas E.T.S.I.N.; Edición 2005.
- [6] Capitán I.G. Reigadas; *“El buque tanque”*, Ediciones EDG; Pub 2004.
- [7] David G. M. Watson; *“Practical Ship Design”*, ELSEVIER OCEAN ENG. BOOK SERIES; Pub 1998.
- [8] Guillermo Ricardo Gadea; *“Los buques tanque y su clasificación”*, PETROTECNIA; Abril 2004
- [9] M.A. Meizoso, J.L. Garcés; *“Apuntes de proyectos”*, Departamento de Artes Gráficas E.T.S.I.N.
- [10] G. Pérez; *“Teoría del buque (Máquinas) Tomo II-B”*, Departamento de Artes Gráficas E.T.S.I.N.
- [11] Antonio Baquero; *“Análisis de comportamiento del buque bajo la acción del timón. Aspectos hidrodinámicos y de proyecto”*, Tesis Doctoral; Canal de experiencias hidrodinámicas, el Pardo; Publicación núm. 66. Madrid, Noviembre de 1981.
- [12] Álvaro Zurita y Sáez de Navarrete; *“Introducción al diseño de cámara de máquinas”*, Sección de Publicaciones E.T.S.I.N.
- [13] K. Van Dokkum; *“Ship knowledge, a modern encyclopedia”*, Editorial Dokmar; Pub 2003
- [14] Luis Ramón Núñez Rivas; Apuntes de clase de la asignatura “Instalaciones de vapor”, Año 2006.



- [15] Alfonso López de Asiaín Zabia; Apuntes de clase de la asignatura “Equipo y servicios”, Año 2004.
- [16] Amable López Piñeiro; *“Electricidad aplicada al buque – Diseño general de la planta eléctrica”*, Departamento de Artes Gráficas E.T.S.I.N; Pub 1999.
- [17] Amable López Piñeiro; *“Distribución eléctrica a bordo”*, Departamento de Artes Gráficas E.T.S.I.N; Pub 1999.
- [18] Manuel Meizoso Fernández y José Luis García Garcés. *“Desplazamiento. Cálculo iterativo del peso en rosca y el peso muerto”*, Departamento de publicaciones de la ETSIN; Pub Junio 2000
- [19] Manuales de FORAN60.
- [20] *“Common Structural Rules for Double Hull Oil Tankers (CSR)”* publicadas por IACS y en vigor desde el 1 de Abril de 2006
- [21] Lloyds Register of Shipping; *“Rules and Regulations for the Classification of Ships”*; Edición de 2007
- [22] Convenio SOLAS, Edición consolidada 2004.
- [23] Convenio MARPOL 73/78/90 y enmiendas.
- [24] Convenio Internacional sobre Líneas de Carga de 66/88 (Edición revisada 2005).
- [25] Convenio Internacional de 23 de Junio de 1969, sobre Arqueo de Buques hecho en Londres. En vigor desde 18 de Julio de 1982.
- [26] Lloyd’s Register of Shipping; *Lloyd’s Register Information*; <http://www.lr.org>
- [27] Base de datos de buques de Lloyd’s Register of Shipping; <http://www.sea-web.com>
- [28] Jaime Torroja Méndez. *“Apuntes de proyectos. Volumen 1”*, Departamento de publicaciones de la ETSIN; Pub 1987.
- [29] *“Standards for Oil Tanker Manifolds and Associated Equipment”*, Oil Companies International Marine Forum (OCIMF). 3rd Edition 1981.
- [30] *“Recommendations for Equipment Employed in the Mooring of Ships at Single Point Moorings”*, Oil Companies International Marine Forum (OCIMF). 2nd Edition, 1988.
- [31] *“Shipping and shipbuilding markets. Annual Review 2009”*, Barry Rogliano Salles. Pub 2009.



ANEXO 1 DOCUMENTO GENERADO POR EL FABRICANTE DEL MOTOR PROPULSOR “ENGINE ROOM DIMENSIONING”



7S70ME-C7-TI with 1 x TCA88-21 Engine Room Dimensioning
SMCR: 21,770 kW at 91.0 RPM www.manbw.dk/ceas/erd
Opt. point: 100.0 % IMO NOx Tier I comp. MAN Diesel

Ambient reference conditions

ISO Conditions

Scavenge air coolant temperature	°C	25.0
Ambient air temperature	°C	25.0
Barometric pressure	mbar	1,000
Exhaust gas back pressure	mmWC	300

Tropical conditions

Sea water temperature	°C	32.0
Central water temperature	°C	36.0
Ambient air temperature	°C	45.0
Barometric pressure	mbar	1,000


Specified ambient conditions

Scavenge air coolant temperature	°C	10.0
Ambient air temperature	°C	10.0
Barometric pressure	mbar	1,000

Further reading: www.manbw.com/Papers/Influence_Of_Ambient_Temperature_Conditions.pdf p. 1-11


Local time CPH (GMT + 01:00): Jul 8th 2009 10:16 This report is for guidance only and can only be used in the initial stages of projects. The final design values are always to be supplied by the licensed engine builder, the engine supplier or confirmed by MAN Diesel SE. Page 3



7S70ME-C7-TI with 1 x TCA88-21 SMCR: 21,770 kW at 91.0 RPM Opt. point: 100.0 % IMO NOx Tier I comp.		Engine Room Dimensioning www.manbw.dk/ceas/erd	MAN Diesel 
Expected SFOC, Lube Oil Consumption, Air and Exhaust gas data			
Tolerances			
Reference LCV of fuel	kJ/kg	42,700	
SFOC tolerance (matching point)	%	+/- 5	
Exhaust gas amount tolerance	%	+/- 5	
Exhaust gas temperature tolerance	°C	+/- 15	
ISO ambient conditions			
Specific Fuel Oil Consumption			
Nominal Maximum Continuous Rating (NMCR)	g/kWh	169.0	
SMCR	g/kWh	169.0	
Optimising point	g/kWh	169.0	
NCR	g/kWh	169.0	
Exhaust Gas Amount			
SMCR	kg/h	201,600	
Optimising point	kg/h	201,600	
NCR	kg/h	201,600	
Exhaust Gas Temperature			
SMCR	°C	245	
Optimising point	°C	245	
NCR	°C	245	
Air consumption			
SMCR	kg/s	55.0	
Optimising point	kg/s	55.0	
NCR	kg/s	55.0	
Tropical ambient conditions			
Specific Fuel Oil Consumption			
SMCR	g/kWh	172.2	
Optimising point	g/kWh	172.2	
NCR	g/kWh	172.2	
Exhaust Gas Amount			
SMCR	kg/h	189,300	
Optimising point	kg/h	189,300	
NCR	kg/h	189,300	
Exhaust Gas Temperature			
SMCR	°C	278	
Optimising point	°C	278	
NCR	°C	278	
Air consumption			
SMCR	kg/s	51.5	
Optimising point	kg/s	51.5	
NCR	kg/s	51.5	

Local time CPH (GMT + 01:00), Jul 8th 2000 10:16 This report is for guidance only and can only be used in the initial stages of projects. The final design values are always to be supplied by the licensed engine builder, the engine supplier or confirmed by MAN Diesel SE.

Page 4

7S70ME-C7-TI with 1 x TCA88-21 SMCR: 21,770 kW at 91.0 RPM Opt. point: 100.0 % IMO NOx Tier I comp.		Engine Room Dimensioning www.manbw.dk/ceas/erd	MAN Diesel 
Specified ambient conditions			
Specific Fuel Oil Consumption			
SMCR	g/kWh	166.2	
Optimising point	g/kWh	166.2	
NCR	g/kWh	166.2	
Exhaust Gas Amount			
SMCR	kg/h	208,300	
Optimising point	kg/h	208,300	
NCR	kg/h	208,300	
Exhaust Gas Temperature			
SMCR	°C	220	
Optimising point	°C	220	
NCR	°C	220	
Air consumption			
SMCR	kg/s	56.9	
Optimising point	kg/s	56.9	
NCR	kg/s	56.9	
Consumption of Lubrication Oils			
System Oil			
Consumption per 24 hours	kg/24h	45.5	
Cylinder Oil (SLOC)			
SMCR	g/kWh	0.60	
Optimising point	g/kWh	0.60	
NCR	g/kWh	0.60	

Local time CPH (GMT + 01:00), Jul 8th 2000 10:16 This report is for guidance only and can only be used in the initial stages of projects. The final design values are always to be supplied by the licensed engine builder, the engine supplier or confirmed by MAN Diesel SE.

Page 5



7S70ME-C7-T1 with 1 x TCA88-21
SMCR: 21,770 kW at 91.0 RPM
Opt. point: 100.0 % IMO NOx Tier I comp.

Engine Room Dimensioning
www.manbw.dk/ceas/erd

MAN Diesel 

Necessary Capacities of Auxiliary Machinery (SMCR)

Layout of Systems

Cooling water system		Central cooling
Seawater inlet temperature	°C	32.0
Central water outlet temperature	°C	36.0
Tropical ambient air temperature	°C	45.0

Lubricating oil system		
Separate hydraulic control oil system	No	
Separate turbocharger L.O. system	No	

Pumps

Fuel oil circulating pump

Flow capacity	m ³ /h	8.7
Pump head	bar	6.0

Fuel oil supply pump

Flow capacity	m ³ /h	5.4
Pump head	bar	4.0

Jacket water pump

Flow capacity	m ³ /h	180.0
Pump head	bar	3.0

Central cooling water pump

Flow capacity	m ³ /h	530.0
Pump head	bar	2.6

Seawater pump

Flow capacity	m ³ /h	660.0
Pump head	bar	2.5

Lubricating oil pump

Flow capacity	m ³ /h	465.0
Pump head	bar	4.4

Local time CPH (GMT + 01:00): Jul 8th 2009 10:16 This report is for guidance only and can only be used in the initial stages of projects. The final design values are always to be supplied by the licensed engine builder, the engine supplier or confirmed by MAN Diesel SE.

Page 6

7S70ME-C7-T1 with 1 x TCA88-21
SMCR: 21,770 kW at 91.0 RPM
Opt. point: 100.0 % IMO NOx Tier I comp.

Engine Room Dimensioning
www.manbw.dk/ceas/erd

MAN Diesel 

Coolers

Scavenge air coolers

Heat dissipation	kW	8,600
Central water flow	m ³ /h	302

Lubricating oil cooler

Heat dissipation	kW	1,690
Lubricating oil flow	m ³ /h	465
Central water flow	m ³ /h	228

Jacket water cooler

Heat dissipation	kW	3,150
Jacket water flow	m ³ /h	180
Central water flow	m ³ /h	228

Central cooler

Heat dissipation	kW	13,440
Central water flow	m ³ /h	530
Seawater flow	m ³ /h	660

Fuel oil preheater

Heat capacity	kW	230
---------------	----	-----

The pump heads stated are for guidance only, and depend on the actual pressure drop across coolers, filters, etc. in the systems.

Pertaining cooling water flow diagram, temperatures, viscosities and pressures for pumps and coolers, see "Engine Project Guide".

Local time CPH (GMT + 01:00): Jul 8th 2009 10:16 This report is for guidance only and can only be used in the initial stages of projects. The final design values are always to be supplied by the licensed engine builder, the engine supplier or confirmed by MAN Diesel SE.

Page 7



7S70ME-C7-TI with 1 x TCA88-21


SMCR: 21,770 kW at 91.0 RPM

Opt. point: 100.0 % IMO NOx Tier I comp.

Engine Room Dimensioning

www.manbw.dk/ceas/ent/

MAN Diesel



Starting Air System, Engine dimensions, Tanks, etc.

Starting air system, 30.0 bar g

Reversible engine

Receiver volume (12 starts)	m ³	2 x 8.0
Compressors (total)	m ³ /h	480.0

Main engine dimensions

Dimensions

Length excl. tuning wheel, tanktop	mm	10,161
Min length excl. tuning wheel, c/l	mm	10,688
Max length incl. tuning wheel, c/l	mm	11,113
Cylinder distance	mm	1,190
Width of bedplate	mm	4,390
Distance, foot - crankshaft c/l	mm	1,520

Overhaul

Normal lift, c/l - crane hook	mm	12,550
Crane capacity, normal lifting procedure	t	6.30
Double jib crane, c/l - deck beam	mm	11,475
Crane capacity, double jib crane	t	2 x 3.00

Weight

Weight of main engine, dry	t	587.0
Weight of water and oil in engine	t	4.4

The real engine length at crankshaft centraline level (c/l) may be between the above min and max lengths, and depends on the vibration conditions of the main engine and shaft system, i.e. on whether a vibration damper need to be installed.

The mass can vary up to 10% depending on the design and options chosen.

Local time CPH (GMT + 01:00): Jul 8th 2009 18:16 This report is for guidance only and can only be used in the initial stages of projects. The final design values are always to be supplied by the licensed engine builder, the engine supplier or confirmed by MAN Diesel SE.

Page 8

7S70ME-C7-TI with 1 x TCA88-21
 SMCR: 21,770 kW at 91.0 RPM
 Opt. point: 100.0 % - IMO NOx Tier I comp.

Engine Room Dimensioning
www.manbw.dk/ceas/ent/

Dimensions of tanks, centrifuges and aux. blowers

Fuel oil system

Marine diesel oil service tank, 4 hour	m ³	17.0
Fuel oil settling tanks, 2 x 12 hour	m ³	2 x 52.0
Fuel oil centrifuge, 98 °C	l/h	5,878
Fuel oil service tank, 6 h/95 °C	m ³	26.0

The capacity of the F.O. centrifuge(s) is for guidance only. Actual capacity should be given by the maker

Lubrication oil system

Lube oil storage tanks, (2x3 months)	m ³	2 x 5.5
Lube oil centrifuge, 95 °C	l/h	2,961
Lube oil bottom (sump) tank, appr.	m ³	28.2

Cylinder oil system

Cylinder oil storage tanks	m ³	2 x 38.0
Cylinder oil service tank	m ³	2.9

Various drain tanks

Stuffing box drain tank	m ³	0.30
Scavenge air drain tank	m ³	0.70

Air cooler cleaning unit

Air cooler cleaning tank	m ³	0.60
Capacity of pump	m ³ /h	2.00

Jacket water

Expansion tank for jacket water	m ³	1.25
---------------------------------	----------------	------

Auxiliary blower(s)

Electric motor rating of aux blower(s)	kW	2 x 83
--	----	--------

Local time CPH (GMT + 01:00): Jul 8th 2009 18:16 This report is for guidance only and can only be used in the initial stages of projects. The final design values are always to be supplied by the licensed engine builder, the engine supplier or confirmed by MAN Diesel SE.

Page 9



7S70ME-C7-TI with 1 x TCA88-21
SMCR: 21,770 kW at 91.0 RPM
Opt. point: 100.0 % IMO NOx Tier I comp.

Engine Room Dimensioning
www.manbw.dk/ceas/erd

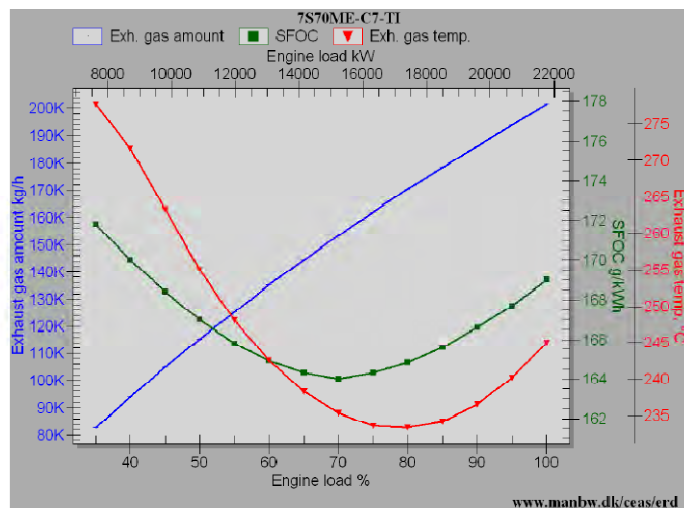


Tables of SFOC and Exhaust Gas Data

Part Load Data at ISO Ambient Conditions

Load	Power	Speed	SFOC	Exh. gas amount	Exh. gas temp.
% of SMCR	kW	r/min	g/kWh	kg/h	°C
100.0	21,770	91.0	169.0	201,600	245.0
95.0	20,682	89.5	167.7	193,900	240.1
90.0	19,593	87.9	166.6	186,200	236.5
85.0	18,504	86.2	165.6	178,400	234.2
80.0	17,416	84.5	164.8	170,400	233.3
75.0	16,328	82.7	164.3	162,000	233.6
70.0	15,239	80.8	164.0	153,400	235.3
65.0	14,150	78.8	164.3	144,500	238.2
60.0	13,062	76.8	164.9	135,100	242.5
55.0	11,974	74.6	165.8	125,400	248.1
50.0	10,885	72.2	167.0	115,300	255.0
45.0	9,796	69.7	168.4	104,800	263.3
40.0	8,708	67.0	170.0	93,900	271.6
35.0	7,620	64.1	171.8	82,700	277.7

Ambient air suction temperature: 25.0 °C
Cooling water temperature: 25.0 °C



Local time CPH (GMT + 01:00): Jul 08 2009 10:10 This report is for guidance only and can only be used in the initial stages of projects. The final design values are always to be supplied by the licensed engine builder, the engine supplier or confirmed by MAN Diesel SE.

Page 10

7S70ME-C7-TI with 1 x TCA88-21
SMCR: 21,770 kW at 91.0 RPM
Opt. point: 100.0 % IMO NOx Tier I comp.

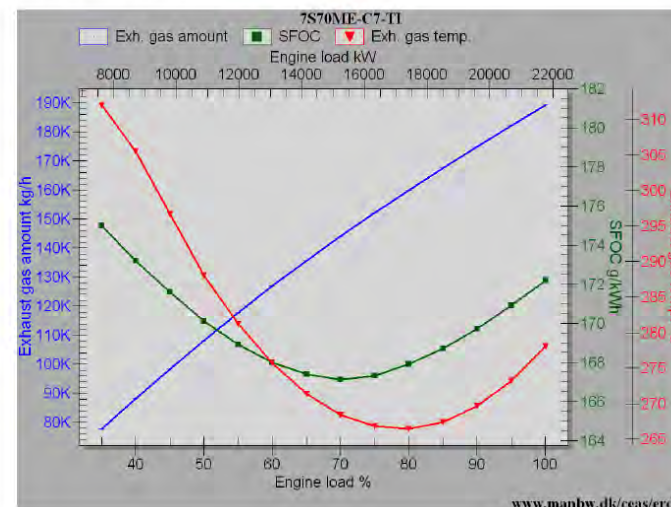
Engine Room Dimensioning
www.manbw.dk/ceas/erd



Part Load Data at Tropical Ambient Conditions

Load	Power	Speed	SFOC	Exh. gas amount	Exh. gas temp.
% of SMCR	kW	r/min	g/kWh	kg/h	°C
100.0	21,770	91.0	172.2	189,300	278.1
95.0	20,682	89.5	170.9	182,100	273.2
90.0	19,593	87.9	169.7	174,900	269.7
85.0	18,504	86.2	168.7	167,500	267.3
80.0	17,416	84.5	167.9	159,900	266.4
75.0	16,328	82.7	167.3	152,100	266.8
70.0	15,239	80.8	167.1	144,100	268.4
65.0	14,150	78.8	167.4	135,600	271.4
60.0	13,062	76.8	168.0	126,900	275.7
55.0	11,974	74.6	168.9	117,700	281.2
50.0	10,885	72.2	170.1	108,200	288.1
45.0	9,796	69.7	171.6	98,400	296.7
40.0	8,708	67.0	173.2	88,200	305.5
35.0	7,620	64.1	175.0	77,700	312.1

Ambient air suction temperature: 45.0 °C
Cooling water temperature: 36.0 °C



Local time CPH (GMT + 01:00): Jul 08 2009 10:10 This report is for guidance only and can only be used in the initial stages of projects. The final design values are always to be supplied by the licensed engine builder, the engine supplier or confirmed by MAN Diesel SE.

Page 11



7S70ME-C7-TI with 1 x TCA88-21
SMCR: 21,770 kW at 91.0 RPM
Opt. point: 100.0 % IMO NOx Tier I comp.

Engine Room Dimensioning
www.manbw.dk/ceas/erd

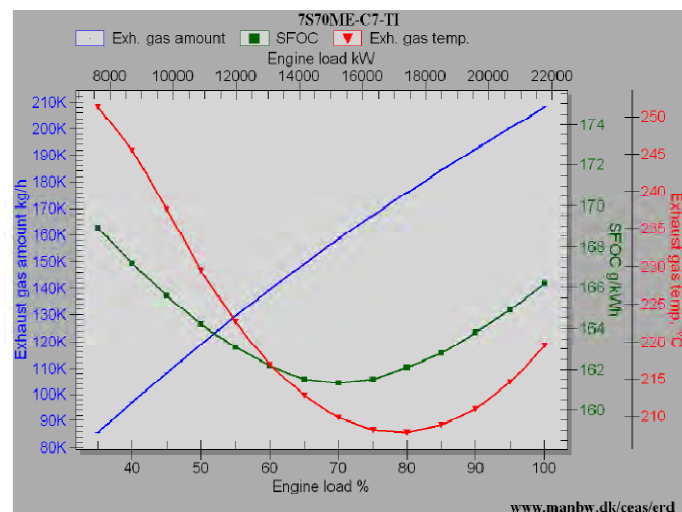
MAN Diesel



Part Load Data at Specified Ambient Conditions

Load	Power	Speed	SFOC	Exh. gas amount	Exh. gas temp.
% of SMCR	kW	r/min	g/kWh	kg/h	°C
100.0	21,770	91.0	166.2	208,300	219.5
95.0	20,682	89.5	164.9	200,300	214.6
90.0	19,593	87.9	163.8	192,400	211.0
85.0	18,504	86.2	162.8	184,300	208.8
80.0	17,416	84.5	162.1	176,000	207.8
75.0	16,328	82.7	161.5	167,400	208.1
70.0	15,239	80.8	161.3	158,500	209.8
65.0	14,150	78.8	161.5	149,200	212.8
60.0	13,062	76.8	162.2	139,600	217.0
55.0	11,974	74.6	163.1	129,500	222.6
50.0	10,885	72.2	164.2	119,100	229.5
45.0	9,796	69.7	165.6	108,300	237.6
40.0	8,708	67.0	167.2	97,000	245.5
35.0	7,620	64.1	168.9	85,500	251.3

Ambient air suction temperature: 10.0 °C
Cooling water temperature: 10.0 °C



Local time CPH (GMT + 01:00): Jul 8th 2009 10:16 This report is for guidance only and can only be used in the initial stages of projects. The final design values are always to be supplied by the licensed engine builder, the engine supplier or confirmed by MAN Diesel SE.

Page 12

7S70ME-C7-TI with 1 x TCA88-21
SMCR: 21,770 kW at 91.0 RPM
Opt. point: 100.0 % IMO NOx Tier I comp.

Engine Room Dimensioning
www.manbw.dk/ceas/erd

MAN Diesel



Tables of Cooler Heat

1 Engine load (% SMCR)	4 Scavenging air amount +/- 5% (kg/h)	9 Jacket water cooler heat (kW)
2 Engine power (kW)	5 Scavenging air pressure (bar abs)	10 Main lubrication oil heat (kW)
3 Engine speed (r/min)	6 Scavenging air temperature BEFORE air cooler (°C)	
	7 Scavenging air temperature AFTER air cooler (°C)	
	8 Scavenging air cooler heat (kW)	

ISO Ambient Conditions Air suction temperature: 25.0 °C Cooling water temperature: 25.0 °C

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
%	kW	r/min	kg/h	bar abs	°C	°C	bar abs	kW	kW
100.0	21,770	91.0	197,900	3.7	138.0	37.0	3.360	2,780	1,490
95.0	20,682	89.5	190,400	3.5	131.0	36.0	7,750	2,690	1,470
90.0	19,593	87.9	182,900	3.3	124.0	34.0	7,150	2,580	1,450
85.0	18,504	86.2	175,300	3.2	117.0	33.0	6,560	2,470	1,430
80.0	17,416	84.5	167,500	3.0	109.0	32.0	5,970	2,370	1,400
75.0	16,328	82.7	159,300	2.8	102.0	31.0	5,370	2,270	1,370
70.0	15,239	80.8	150,900	2.7	95.0	30.0	4,780	2,160	1,330
65.0	14,150	78.8	142,200	2.5	88.0	29.0	4,200	2,060	1,300
60.0	13,062	76.8	132,900	2.4	81.0	28.0	3,620	1,960	1,260
55.0	11,974	74.6	123,400	2.2	74.0	27.0	3,070	1,860	1,210
50.0	10,885	72.2	113,500	2.0	67.0	26.0	2,530	1,750	1,160
45.0	9,796	69.7	103,200	1.8	60.0	25.0	2,020	1,650	1,110
40.0	8,708	67.0	92,400	1.7	53.0	24.0	1,570	1,540	1,050
35.0	7,620	64.1	81,400	1.6	46.0	23.0	1,170	1,440	990
30.0	6,531	60.9	70,200	1.5	39.0	22.0	840	1,340	920
25.0	5,442	57.3	58,500	1.4	32.0	21.0	580	1,230	840

Tropical Ambient Conditions Air suction temperature: 45.0 °C Cooling water temperature: 35.0 °C

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
%	kW	r/min	kg/h	bar abs	°C	°C	bar abs	kW	kW
100.0	21,770	91.0	185,800	3.6	212.0	48.0	8,690	2,840	1,520
95.0	20,682	89.5	178,600	3.4	205.0	47.0	7,990	2,730	1,500
90.0	19,593	87.9	171,600	3.2	198.0	45.0	7,380	2,620	1,480
85.0	18,504	86.2	164,400	3.1	191.0	44.0	6,770	2,520	1,450
80.0	17,416	84.5	157,000	2.9	184.0	43.0	6,170	2,410	1,420
75.0	16,328	82.7	149,400	2.8	177.0	42.0	5,570	2,310	1,390
70.0	15,239	80.8	141,600	2.6	170.0	41.0	4,960	2,200	1,360
65.0	14,150	78.8	133,200	2.4	163.0	40.0	4,380	2,100	1,320
60.0	13,062	76.8	124,700	2.3	156.0	40.0	3,800	1,990	1,280
55.0	11,974	74.6	115,700	2.1	149.0	39.0	3,230	1,890	1,230
50.0	10,885	72.2	106,300	2.0	142.0	38.0	2,680	1,780	1,180
45.0	9,796	69.7	96,700	1.8	135.0	38.0	2,170	1,680	1,130
40.0	8,708	67.0	86,700	1.7	128.0	37.0	1,710	1,570	1,070
35.0	7,620	64.1	76,400	1.6	121.0	36.0	1,300	1,470	1,010
30.0	6,531	60.9	65,700	1.4	114.0	35.0	950	1,360	930
25.0	5,442	57.3	54,900	1.3	107.0	34.0	670	1,250	860

Specified Ambient Conditions Air suction temperature: 10.0 °C Cooling water temperature: 10.0 °C

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
%	kW	r/min	kg/h	bar abs	°C	°C	bar abs	kW	kW
100.0	21,770	91.0	204,700	3.7	155.0	22.0	8,350	2,740	1,470
95.0	20,682	89.5	196,900	3.5	148.0	21.0	7,660	2,630	1,450
90.0	19,593	87.9	189,200	3.4	141.0	19.0	7,070	2,530	1,430
85.0	18,504	86.2	181,300	3.2	134.0	18.0	6,480	2,430	1,410
80.0	17,416	84.5	173,200	3.0	127.0	17.0	5,890	2,330	1,380
75.0	16,328	82.7	164,800	2.9	120.0	16.0	5,310	2,230	1,350
70.0	15,239	80.8	156,000	2.7	113.0	15.0	4,730	2,130	1,310
65.0	14,150	78.8	146,900	2.5	106.0	14.0	4,160	2,030	1,280
60.0	13,062	76.8	137,500	2.4	100.0	14.0	3,590	1,920	1,240
55.0	11,974	74.6	127,500	2.2	93.0	13.0	3,040	1,820	1,190
50.0	10,885	72.2	117,200	2.0	86.0	12.0	2,510	1,720	1,140
45.0	9,796	69.7	106,700	1.8	79.0	12.0	2,010	1,620	1,090
40.0	8,708	67.0	95,500	1.7	72.0	11.0	1,560	1,520	1,040
35.0	7,620	64.1	84,200	1.6	65.0	11.0	1,170	1,420	970
30.0	6,531	60.9	72,500	1.5	58.0	10.0	840	1,320	900
25.0	5,442	57.3	60,800	1.4	51.0	10.0	580	1,210	830

Scavenging air pressure and air cooler data for guidance only - not to be used for dimensioning of turbochargers and scavenging air coolers. See the design specification of the engine.

Local time CPH (GMT + 01:00): Jul 8th 2009 10:16 This report is for guidance only and can only be used in the initial stages of projects. The final design values are always to be supplied by the licensed engine builder, the engine supplier or confirmed by MAN Diesel SE.

Page 13



7S70ME-C7-TI with 1 x TCA88-21
SMCR: 21,770 kW at 91.0 RPM
Opt. point: 100.0 % IMO NOx Tier I comp.

Engine Room Dimensioning
www.manbw.dk/ceas/erd



Typical noise and vibration levels

SMCR

Octave band centre freq.	31.5 Hz	63.0 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	dB(Lin)	dB(A)	Max dB(A)
A) Exhaust gas system (2x10 ⁻⁵ Pa)	128.2	122.6	115.0	110.5	108.7	104.3	93.4	83.5	75.2	129.5	109.7	-
B) Standard noise reduction (2x10 ⁻⁵ Pa)	100.7	99.8	100.6	100.0	100.4	101.7	101.9	96.8	88.8	109.5	106.9	109.5
C) Additional noise reduction (2x10 ⁻⁵ Pa)	100.6	99.8	98.2	98.4	98.5	99.7	99.7	92.1	85.0	107.8	104.6	107.8
D) Structureborne vibrations (5x10 ⁻³ m/s)	78.4	76.3	73.5	71.7	69.3	63.6	57.3	49.2	42.6	-	-	-

NCR (100.0% of SMCR)

Octave band centre freq.	31.5 Hz	63.0 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	dB(Lin)	dB(A)	Max dB(A)
A) Exhaust gas system (2x10 ⁻⁵ Pa)	128.2	122.6	115.0	110.5	108.7	104.3	93.4	83.5	75.2	129.5	109.7	-
B) Standard noise reduction (2x10 ⁻⁵ Pa)	100.7	99.8	100.6	100.0	100.4	101.7	101.9	96.8	88.8	109.5	106.9	109.5
C) Additional noise reduction (2x10 ⁻⁵ Pa)	100.6	99.8	98.2	98.4	98.5	99.7	99.7	92.1	85.0	107.8	104.6	107.8
D) Structureborne vibrations (5x10 ⁻³ m/s)	78.4	76.3	73.5	71.7	69.3	63.6	57.3	49.2	42.6	-	-	-

Notes

A) Sound pressure levels from exhaust gas system.
The expected sound pressure level at 1 metre from the edge of the exhaust gas pipe opening at an angle of 30 degrees to the direction of the gas flow and valid for a normal exhaust gas system - but without a boiler and silencer.

B) Airborne sound pressure levels - with standard noise reduction countermeasures.
Expected mean sound pressure octave spectrum levels, i.e. the average spatial noise values at a distance of 1 metre from the engine.
Prescribed measuring surface area is 107.8 m².

C) Airborne sound pressure levels - with additional noise reduction countermeasures.
Expected mean sound pressure octave spectrum levels, i.e. the average spatial noise values at a distance of 1 metre from the engine.
Prescribed measuring surface area is 107.8 m².

Additional noise reduction countermeasures, e.g.:
1. Extra good turbocharger air intake silencer(s)
2. External sound insulation of scavenge air receiver
3. External sound insulation of scavenge air cooler(s).

Other additional noise reduction countermeasures are also available. The noise figures given are in accordance with the CIMAC recommendations for measurements of the overall noise for reciprocating engines. The average levels will, depending on the actual engine room configuration, be 1-5 dB higher when the engine is installed in the engine room.

D) Structureborne vibration levels

Expected mean velocity octave spectrum levels at the engine base plate as installed on board the ship. Based on an average engine foundation of a ship, and may only be used as a rough estimate as the velocity levels will depend on the actual foundation used. If the vibration velocity levels are referred to 10⁻⁶ m/s instead of 5x10⁻⁶ m/s, the calculated dB figures will be 34.0 dB higher than above stated.

Further reading: www.manbw.com/Papers/Diesel_Engines_And_the_Environment_Noise.pdf

7S70ME-C7-TI with 1 x TCA88-21
SMCR: 21,770 kW at 91.0 RPM
Opt. point: 100.0 % IMO NOx Tier I comp.

Engine Room Dimensioning
www.manbw.dk/ceas/erd



Alternative Engines and Turbochargers, Further Reading

Alternative Tier I engines

SMCR: 21,770 kW at 91.0 rpm. Optimization point: 100.0

Series, 217.7 V MVA at 15.0 rpm, Optimization point: 100.0	Nominal MCR			Specified MCR		SFOC (ISO)	Engine room				Weight
	Power	RPM		Lowest opt. point	Opt. point		Overhaul height H ₁	Overhaul height H ₂	Length	Width	
	(kW)			(% SMCR)	(% SMCR)		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
8S65ME-C8-TI	22,960	95.0		85.0	100.0	168.6	12,000	11,025 ▼	10,855	4,124	▼ 530
8S65ME-GI8-TI	22,960	95.0		85.0	100.0	168.6	12,000	11,025 ▼	10,855	4,124	▼ 530
7S70MC-C7-TI	21,770	91.0		85.0	100.0	169.0	12,475	11,425	10,161	4,390	624
7S70MC-C8-TI	22,890	91.0		85.0	100.0	167.3	12,475	11,425	10,161	4,390	624
7S70ME-C7-TI	21,770	91.0		85.0	100.0	169.0	12,550	11,475	10,161	4,390	587
7S70ME-C8-TI	22,890	91.0		85.0	100.0	167.3	12,550	11,475	10,161	4,390	587
7S70ME-GI7-TI	21,770	91.0		85.0	100.0	169.0	12,550	11,475	10,161	4,390	587
7S70ME-GI8-TI	22,890	91.0		85.0	100.0	167.3	12,550	11,475	10,161	4,390	587
8L70MC-C8-TI	26,160	108.0		99.9	100.0	169.6	11,250 ▼	10,475	11,351	3,842	683
8L70ME-C8-TI	26,160	108.0		99.9	100.0	169.6	11,250	10,575	11,351	3,842	642
8S70MC6-TI	22,480	91.0		85.0	100.0	167.9	12,450	11,325	12,161	4,250	722
8S70MC-C7-TI	24,880	91.0		85.0	100.0	164.8	12,475	11,425	11,351	4,390	704
8S70MC-C8-TI	26,160	91.0		93.9	100.0 ▼	163.1	12,475	11,425	11,351	4,390	704
8S70ME-C7-TI	24,880	91.0		85.0	100.0	164.8	12,550	11,475	11,351	4,390	662
0S70MC-C0-TI	26,100	91.0		90.9	100.0 ▼	163.1	12,500	11,475	11,351	4,390	602
8S70ME-GI7-TI	24,880	91.0		85.0	100.0	164.8	12,550	11,475	11,351	4,390	662
8S70ME-GI8-TI	26,160	91.0		93.9	100.0 ▼	163.1	12,550	11,475	11,351	4,390	662
7K80MC-C6-TI	25,270	104.0		93.4	100.0 ▲	170.5	11,900	11,300	12,528	4,088	830
7K80ME-C6-TI	25,270	104.0		93.4	100.0 ▲	170.5	11,900	11,300	12,528	4,088	780
8K80MC-C8-TI	28,880	104.0		93.4	100.0	166.2	11,900	11,300 ▲	13,952	4,088	926
8K80ME-C6-TI	28,880	104.0		93.4	100.0	166.2	11,900	11,300 ▲	13,952	4,088	870
8K80MC-C6-TI	27,420	104.0		93.4	100.0	167.8	12,800	▲ 12,375	12,447	4,286	▲ 986

▶ = selected engine ▼ = lowest value ▲ = highest value



7S70ME-C7-TI with 1 x TCA88-21
SMCR: 21,770 kW at 91.0 RPM
Opt. point: 100.0 % IMO NOx Tier I comp.

Engine Room Dimensioning
www.manbw.dk/ceas/ard



Alternative Turbochargers

	Central cool. water pump flow	Seawater pump flow	Lub. oil flow	Lub. oil cooler heat diss.	Lub. oil cooler oil flow	Jacket water cooler flow c.w. flow	Jacket water cooler flow s.w.	Central cooler heat diss.	Central cooler c.w. flow	Central cooler s.w. flow	Min. motor rating for aux blowers
	[m³/s]	[m³/s]	[m³/s]	[kW]	[m³/s]	[m³/s]	[m³/s]	[kW]	[m³/s]	[m³/s]	[kW]
* 1 x TCA88-21	530	660	465	1,690	465	236	236	13,440	530	660	2 x 83.0
2 x TCA88-21	540	660	465	1,740	465	236	236	13,490	540	660	2 x 83.0
2 x NA5770	540	670	465	1,720	465	236	236	13,600	540	670	2 x 83.0
1 x TPL85-B16	540	660	465	1,740	465	236	236	13,490	540	660	2 x 83.0
2 x TPL77-B (2ICL)	540	670	465	1,760	465	236	236	13,510	540	670	2 x 83.0
2 x TPL85-B11	540	670	470	1,820	470	236	236	13,570	540	670	2 x 83.0
2 x MET66MA	540	660	470	1,750	470	236	236	13,500	540	660	2 x 83.0

* = selected turbocharger S.W. = seawater c.w. = central water

References and Further Reading

www.manbw.com/Papers/Exhaust_Gas_Emission_Control_Today_and_Tomorrow.pdf (Aug. 19th 2008)

Regulations, impact on engine, current and future emission control methods, fuels, waste heat recovery, Tier I, Tier II

www.manbw.com/Papers/Basic_Principles_Of_Ship_Propulsion.pdf (Feb. 9th 2006)

Layout/load diagrams, running points, combinator curves, propeller propulsion, propeller types/dimensions, flow and operating conditions, ship types, hull resistance/forms, load lines

www.manbw.com/Papers/Influence_Of_Ambient_Temperature_Conditions.pdf (Mar. 16th 2006)

Influence of ambient temperature conditions on engine operation, engine room ventilation, special high/low temperature precautions, adjustable bypass system

www.manbw.com/Papers/Propulsion_Trends_in_Bulk_Carriers.pdf (Oct. 4th 2007)

Greater market demand for bulk carriers, double skinned hull design, sizes and classes, propulsion power demand, average bulk carriers, Handysize, Panamax,

www.manbw.com/Papers/

Technical papers on propulsion trends in tankers/bulkers/shuttle tankers/container ships, exhaust gas boiler, emission control, LNG carrier, ME-GI engines, Alpha ACC, engine noise, vibration aspects

PROYECTO 1.731
PETROLERO PARA CRUDO 150.000 TPM

CUADERNO 8

PESOS Y CENTRO DE GRAVEDAD
DEL BUQUE EN ROSCA



Tutor: D. Francisco Alonso Thous

Realizado por: José Antonio Durango Ramón



CONTENIDOS

1	INTRODUCCIÓN	2
2	NOMENCLATURA	3
3	CRITERIOS DE CÁLCULO	4
4	PESO Y CENTRO DE GRAVEDAD DEL ACERO	5
4.1	Peso del acero longitudinal continuo	5
4.2	Peso del acero transversal continuo	6
4.3	Peso total del acero continuo	7
4.4	Pesos locales del acero	9
4.5	Peso total del acero	12
5	PESO Y CENTRO DE GRAVEDAD DEL EQUIPO Y LA HABILITACIÓN	13
5.1	Protección anticorrosiva	13
5.2	Equipo de amarre y fondeo	14
5.3	Equipo de navegación	14
5.4	Equipo de gobierno	14
5.5	Equipo de salvamento	15
5.6	Equipos de contraincendios	15
5.7	Sistemas de la carga	16
5.8	Cierres y accesos	19
5.9	Peso habilitación	19
5.10	Peso y centro de gravedad del equipo y la habilitación	20
6	PESO Y CENTRO DE GRAVEDAD DE LA MAQUINARIA	22
6.1	Peso de la maquinaria propulsora	22
6.2	Peso del resto de la maquinaria	23
6.3	Peso y centro de gravedad de la maquinaria	23
7	MÁRGENES. PESO Y CENTRO DE GRAVEDAD EN ROSCA. DISTRIBUCIÓN LONGITUDINAL	25
8	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	26



1 INTRODUCCIÓN

En este documento se calcula el peso en rosca del buque así como la posición de su centro de gravedad, para ello se va a dividir este peso en tres partidas principales que son:

- Peso del acero
- Peso del equipo y habilitación
- Peso de la maquinaria

En cada una de estas partidas se enumerarán los elementos que comprende, haciendo notar que en cada servicio o sistema se incluyen sus tuberías, polines y aparellaje eléctrico.

El cálculo del peso en rosca, está entre las mayores dificultades que se encuentran en el proceso de diseño de cualquier buque. No solamente supone un riesgo técnico, sino que también implica un riesgo económico ya que el peso muerto suele ser una característica contractual sujeta a fuertes penalizaciones por defecto (que vienen motivadas por el exceso del peso en rosca). Ello obliga a tomar unos coeficientes de seguridad o márgenes para reducir ambos riesgos.

El peso en rosca y la posición de su centro de gravedad no se conocen exactamente hasta la puesta a flote del buque, y es la realización de la experiencia de estabilidad la que proporciona definitivamente estos valores. No obstante, si se tiene en cuenta que la elaboración del proyecto sigue un proceso iterativo, a medida que se progresa en la definición y construcción del buque se puede ir calculando el peso en rosca con mayor precisión y en consecuencia reduciendo los márgenes que se vayan adoptando en etapas previas.

En este documento se va a emplear el mismo sistema de referencia que se ha venido usando a lo largo de todo el proyecto, donde el origen de coordenadas se encuentra en la intersección de la perpendicular de popa con la línea de base dentro del plano de crujía. Los sentidos positivos de los ejes son: Las abscisas (sentido de la eslora del buque) hacia proa, las ordenadas (sentido de la manga) hacia babor y las alturas hacia el sentido creciente del puntal del buque.

En cuanto a las unidades, para los pesos se utilizarán las toneladas métricas y para las coordenadas de los centros de gravedad los metros.



2 NOMENCLATURA

Variable	Descripción (unidades)
L	Eslora entre perpendiculares (m)
B	Manga del buque (m)
T	Calado (m)
D	Puntal (m)
X _P	Posición longitudinal del centro de gravedad de un peso "P" (m)
Y _P	Posición transversal del centro gravedad de un peso "P" (m)
Z _P	Altura del centro gravedad de un peso "P" (m)
NE	Numeral de equipo
v	Velocidad del buque (nudos)
D _{df}	Altura del doble fondo (m)
TPM	Toneladas de peso muerto
V	Volumen (m ³)
A	Área (m ²)
ρ	Densidad (t/m ³)
P _{AC}	Peso del acero (t)
P _{EH}	Peso del equipo y la habilitación (t)
P _{MQ}	Peso de la maquinaria (t)
P _{MP}	Peso de la maquinaria propulsora (t)
P _{RM}	Peso del resto de la maquinaria (t)



3 CRITERIOS DE CÁLCULO

El cálculo del peso de las distintas partidas en las que se ha dividido el peso en rosca del buque se hace en base a los siguientes criterios:

- Para el peso continuo de acero se utiliza el método de D.S. Aldwinckle que es de aplicación directa para petroleros.
Los pesos de acero locales se estiman mediante fórmulas recomendadas por el Lloyds Register y se distribuyen en base a su posición en el buque.
- El peso de las distintas partidas que componen el equipo y la habilitación se hace igualmente a través de expresiones recomendadas por el Lloyds Register, excepto la partida de habilitación que se calcula por medio de la densidades superficiales de los distintos espacios de habilitación.
- Por último, el peso de la maquinaria se obtiene por expresiones del mismo tipo que el resto de las partidas anteriores. En el caso del motor propulsor se considera su peso real que ha sido obtenido directamente de su manual de especificación.



4 PESO Y CENTRO DE GRAVEDAD DEL ACERO

En esta partida se consideran los siguientes elementos:

- Fondos y doble fondos (incluyendo los pozos de sentinas).
- Mamparos transversales
- Mamparos longitudinales
- Tanques estructurales
- Cubiertas intermedias
- Bloque de popa
- Bloque de proa
- Forro exterior
- Cubierta superior
- Cajas tomas de mar
- Amurada y barandillas
- Cubiertas de habitación
- Guardacalor
- Mamparos interiores de acero
- Chimenea
- Casetas de cubierta

Para el cálculo del peso total de acero se divide éste en las siguientes partidas:

- Peso longitudinal continuo
- Peso transversal continuo
- Pesos locales

Para calcular el peso del acero continuo se va a seguir el método de D.S. Aldwinckle (Descrito en la referencia [18]) que además permite obtener la distribución longitudinal de este peso.

4.1 Peso del acero longitudinal continuo

El método es de aplicación directa en función del tipo de buque, el peso longitudinal continuo en t/m de la sección media “P_L(10)” se obtiene pesando los elementos longitudinales que componen dicha sección.

El área que ocupan estos elementos longitudinales en la cuaderna maestra se obtuvo en el cuaderno 6 de proyecto (punto 6.) gracias al programa Mars 2000 y es igual a 9,784, el peso por unidad de longitud de la sección media “P_L(10)” se obtiene simplemente multiplicando este área por la densidad del acero que se toma igual a 7,850 t/m³.

$$P_L(10) = \frac{A_{\text{Elementos long.}}}{\text{Sección maestra}} \cdot \rho_{\text{Acero}} = 9,784 \cdot 7,850 = 76,804 \text{ t/m}$$



A partir de este peso longitudinal continuo, se obtiene la distribución longitudinal del peso de acero longitudinal del buque tomando una serie de secciones entre ambas perpendiculares. Ello se hace a través de la siguiente expresión:

$$P_L(S) = G(S)^{m(S)} \cdot P_L(10)$$

Donde:

- “ $P_L(S)$ ”.- Peso longitudinal continuo de la cuaderna “S”
- “ $G(S)$ ”.- Relación de perímetros entre la sección “S” y la maestra
- “ $m(S)$ ”.- Coeficiente de cada sección en función del tipo de buque

Los valores de los distintos parámetros se exponen en la siguiente tabla:

Sección	m(S)	Perímetro (m)	G(S)	$G(S)^{m(S)}$	$P_L(S)$ (t/m)
0 (P. popa)	3,30	56,86	0,403	0,050	3,840
1	3,30	103,04	0,731	0,356	27,342
2	2,67	115,42	0,819	0,586	45,007
3	2,21	122,41	0,868	0,732	56,221
4	1,60	128,87	0,914	0,866	66,513
5	1,29	134,16	0,952	0,938	72,043
6	1,00	137,73	0,977	0,977	75,038
7	1,00	139,84	0,992	0,992	76,190
8	1,00	140,82	0,999	0,999	76,728
9	1,00	140,95	1,000	1,000	76,804
10	1,00	140,96	1,000	1,000	76,804
11	1,00	140,96	1,000	1,000	76,804
12	1,00	140,96	1,000	1,000	76,804
13	1,00	140,96	1,000	1,000	76,804
14	7,00	140,96	1,000	1,000	76,804
15	6,77	140,81	0,999	0,993	76,267
16	6,00	139,24	0,988	0,929	71,351
17	4,67	134,44	0,954	0,802	61,597
18	3,31	123,00	0,873	0,637	48,924
19	2,36	102,16	0,725	0,468	35,944
20 (P. proa)	1,88	76,67	0,544	0,318	24,424

4.2 Peso del acero transversal continuo

El cálculo del peso del acero transversal continuo se hace de una forma muy similar al del acero longitudinal, partiendo del peso transversal por unidad de longitud de la sección maestra “ $P_T(10)$ ”:

Este parámetro se calcula a partir del volumen que ocupan los elementos que forman el anillo transversal, el cual ha sido obtenido midiendo las áreas de los refuerzos y multiplicando por su espesor (dimensionados en el punto 5 del Cuaderno 6 de proyecto), obteniendo un volumen total de 6,468 m³. Como la separación de estos anillos es de 4,12 (Establecido en el punto 6.5 del Cuaderno 3 de proyecto) el peso por unidad de longitud se obtiene a través de:



$$P_T(10) = \frac{V_{\text{Elementos long.}} \cdot \rho_{\text{Acero}}}{\text{Separación elementos transversales}} = \frac{6,468 \cdot 7,850}{4,12} = 12,324 \text{ t/m}$$

La ecuación de la distribución del peso transversal en las distintas secciones es:

$$P_T(S) = F(S)^{p(S)} \cdot P_T(10)$$

Donde:

- “ $P_T(S)$ ”.- Peso transversal continuo de la cuaderna “S”
- “ $F(S)$ ”.- Relación de áreas entre la sección “S” y la maestra
- “ $p(S)$ ”.- Coeficiente de cada sección

Los valores de los distintos parámetros se exponen en la siguiente tabla:

Sección	p(S)	Área (m ²)	F(S)	F(S) ^{p(S)}	P _T (S) (t/m)
0 (P. popa)	0,50	186,09	0,160	0,400	4,930
1	0,65	413,76	0,356	0,511	6,298
2	0,78	682,57	0,588	0,661	8,146
3	0,88	898,72	0,774	0,798	9,835
4	0,94	1.033,14	0,890	0,896	11,042
5	0,99	1.103,06	0,950	0,951	11,720
6	1,00	1.131,68	0,975	0,975	12,016
7	1,00	1.141,67	0,984	0,984	12,127
8	1,00	1,144,56	0,986	0,986	12,151
9	1,00	1,144,79	0,986	0,986	12,151
10	1,00	1.160,75	1,000	1,000	12,324
11	1,00	1.160,75	1,000	1,000	12,324
12	1,00	1.160,75	1,000	1,000	12,324
13	1,00	1.160,75	1,000	1,000	12,324
14	1,00	1.160,75	1,000	1,000	12,324
15	0,99	1.160,40	1,000	1,000	12,324
16	0,94	1.152,57	0,993	0,993	12,238
17	0,88	1.106,07	0,953	0,958	11,806
18	0,78	961,82	0,829	0,864	10,648
19	0,65	670,93	0,578	0,700	8,627
20 (P. proa)	0,50	199,31	0,172	0,414	5,102

4.3 Peso total del acero continuo

El peso total del acero continuo se obtiene por integración a lo largo de la eslora de la suma del acero transversal y longitudinal en cada sección, para ello se utiliza el método de Simpson.

Además también se calcula la posición del centro de gravedad de esta partida, los cálculos se exponen en la siguiente tabla:



Cuaderna	X _G (m)	Z _G (m)	P _L (S) (t/m)	P _T (S) (t/m)	P _{Total} (S) (t/m)	Factor Simpson "f"	f·P _{Total} (S) (t)	f·P _{Total} (S)·X _G (t m)	f·P _{Total} (S)·Y _G (t m)
0 (P. popa)	0,00	19,97	3,840	6,526	8,770	4,333	38,003	0,00	758,91
1	13,00	17,47	27,342	8,336	33,640	17,333	583,092	7580,20	10186,62
2	26,00	15,34	45,007	10,784	53,154	8,667	460,664	11977,26	7066,59
3	39,00	14,01	56,221	13,019	66,055	17,333	1144,960	44653,43	16040,89
4	52,00	13,11	66,513	14,617	77,555	8,667	672,143	34951,41	8811,79
5	65,00	12,59	72,043	15,515	83,763	17,333	1451,886	94372,59	18279,24
6	78,00	12,35	75,038	15,906	87,054	8,667	754,466	58848,37	9317,66
7	91,00	12,25	76,190	16,053	88,317	17,333	1530,824	139305,00	18752,60
8	104,00	12,22	76,728	16,086	88,879	8,667	770,285	80109,66	9412,88
9	117,00	12,22	76,804	16,086	88,956	17,333	1541,902	180402,49	18842,04
10	130,00	12,39	76,804	16,314	89,128	8,667	772,446	100418,00	9570,61
11	143,00	12,39	76,804	16,314	89,128	17,333	1544,892	220919,59	19141,22
12	156,00	12,39	76,804	16,314	89,128	8,667	772,446	120501,60	9570,61
13	169,00	12,39	76,804	16,314	89,128	17,333	1544,892	261086,79	19141,22
14	182,00	12,39	76,804	16,314	89,128	8,667	772,446	140585,20	9570,61
15	195,00	12,39	76,267	16,314	88,591	17,333	1535,573	299436,80	19025,75
16	208,00	12,43	71,351	16,200	83,589	8,667	724,438	150683,14	9004,77
17	221,00	12,55	61,597	15,629	73,404	17,333	1272,328	281184,42	15967,71
18	234,00	12,75	48,924	14,095	59,572	8,667	516,294	120812,70	6582,74
19	247,00	13,01	35,944	11,420	44,571	17,333	772,568	190824,42	10051,12
20 (P. proa)	260,00	11,66	24,424	6,754	29,526	4,333	127,946	33265,89	1491,85
TOTAL							18691,83	X_G 133,23	Y_G 12,77

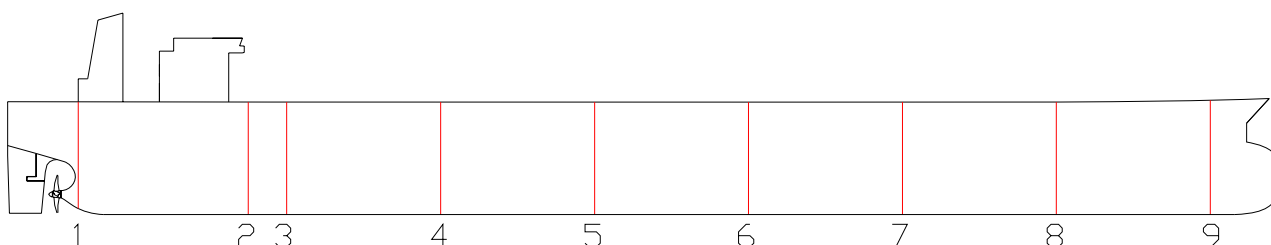


4.4 Pesos locales del acero

En este apartado se tiene en cuenta el peso de acero que no se ha considerado como acero continuo. El peso de los distintos elementos se calcula en base al sistema propuesto por el Lloyds Register para la distribución longitudinal del peso en rosca que hace distinción entre los distintos tipos de buques. Los elementos englobados dentro de esta partida se describen a continuación:

Mamparos transversales

Se considera que los mamparos transversales que dividen los distintos compartimentos del buque son planos y estancos, los mamparos considerados se presentan en la siguiente figura del buque:



El peso de cada uno de estos mamparos se calcula a través de la siguiente expresión:

$$P_{MTi} = 0,0141 \cdot B^{1,20} \cdot D^{1,60} \cdot R$$

Donde:

- “ P_{MTi} ” Es el peso del mamparo transversal “i”
- “R” Relación del área del mamparo con respecto a la sección maestra.

Los cálculos se exponen en la siguiente tabla:

Mamparo	Cuaderna	Área mamparo (m ²)	X _G	Z _G	R	P _{MTi} (t)
1	14	340,25	9,80	18,41	0,293	59,73
2	66	979,72	46,20	13,43	0,844	171,98
3	68	971,92	54,44	13,87	0,837	170,62
4	76	1.139,31	87,40	12,21	0,982	200,00
5	84	1.142,43	120,36	12,20	0,984	200,55
6	92	1.142,43	153,32	12,20	0,984	200,55
7	100	1.142,43	186,28	12,20	0,984	200,55
8	108	1.096,33	219,24	12,30	0,945	192,45
9	116	505,73	252,20	12,91	0,436	88,78
TOTAL PESO MAMPAROS TRANSVERSALES						1485,21



Superestructuras

El peso de la estructura de ambas superestructuras se calcula a través de la siguiente expresión:

$$P_{\text{Superestructura}} = 0,129 \cdot V_{\text{Superestructura}}$$

Por lo que:

- Superestructura habilitación:

$$P_{\text{S.Habilitación}} = 0,129 \cdot 4.665,7 = 601,87 \text{ t}$$

- Superestructura guardacalor y chimenea:

$$P_{\text{S.Chimenea y Guardacalor}} = 0,129 \cdot 2.033,4 = 262,31 \text{ t}$$

Los centros de gravedad se supone que están en el centro de volumen de ambas superestructuras que son:

Elemento	X _G	Y _G
S. Habilitación	36,60	31,47
S. chimenea y guardacalor	15,84	29,17

Reforzado de la cámara de máquinas

Se corresponde con el peso adicional debido al reforzado extra de la cámara de máquinas, se estima por la fórmula:

$$P_{\text{Extra C.máquinas}} = 0,0395 \cdot V_{\text{C.máquinas}} = 0,0385 \cdot 23.854,0 = 918,38 \text{ t}$$

El centro de gravedad de este peso se supone que coincide con el centro de gravedad del volumen que ocupa la cámara de máquinas:

Elemento	X _G	Y _G
Reforzado cámara de máquinas	28,64	15,56

Codaste

El peso del codaste se estima por la expresión:

$$P_{\text{Codaste}} = 8,292 \cdot T = 8,292 \cdot 16,8 = 139,30 \text{ t}$$

El centro de gravedad se sitúa en:

Elemento	X _G	Y _G
Codaste	4,55	7,40



Reforzado estructural en piques

Se tienen en cuenta los refuerzos estructurales de los piques de proa y popa, este peso se estima por:

$$P_{\text{Extra Piques}} = 0,0538 \cdot V_{\text{Pique}}$$

- Pique de proa:

$$P_{\text{Pique de proa}} = 0,0538 \cdot 2.794,9 = 150,36 \text{ t}$$

- Pique de popa:

$$P_{\text{Pique de popa}} = 0,0538 \cdot 830,3 = 44,67 \text{ t}$$

El centro de gravedad de este peso se supone situado en el centro de volumen de ambos espacios:

Elemento	X _G	Y _G
Pique de proa	256,95	9,66
Pique de popa	4,48	7,67

En esta partida se tomará un margen del 2% para el peso de acero obtenido. Un resumen de todos los pesos de acero locales obtenidos en este punto se presenta en la siguiente tabla:

Elemento	X _G	Y _G	Peso (t)
Mamparos transversales	129,36	12,84	1 514,91
Superestructura habitación	36,60	31,47	613,91
Superestructura guardacalor y chimenea	15,84	29,17	267,56
Reforzado cámara de máquinas	28,64	15,56	936,75
Codaste	4,55	7,40	142,09
Reforzado pique de proa	256,95	9,66	153,37
Reforzado pique de popa	4,48	7,67	45,56
TOTAL	78,87	17,09	3.674,14



4.5 Peso total del acero

En base a lo calculado en los anteriores puntos se tiene el siguiente desglose del peso del acero del buque:

Partida	Peso (t)	X _P (m)	Z _P (m)
Acero continuo longitudinal	15.855,22	133,06	12,76
Acero continuo transversal	2.836,61	134,24	12,87
Acero elementos locales	3.674,14	78,87	17,09
TOTAL	22.365,97	124,31	13,49



5 PESO Y CENTRO DE GRAVEDAD DEL EQUIPO Y LA HABILITACIÓN

Se tienen en cuenta dentro de esta partida los siguientes elementos:

- Protección anticorrosiva
- Equipo de amarre y fondeo
- Equipo de navegación
- Equipo de gobierno
- Equipo de salvamento
- Equipo de contraincendios
- Equipos de la carga
- Cierres y accesos
- Habilitación completa incluyendo la electricidad

Para la estimación del peso de esta partida se van a utilizar las formulaciones expuestas en la referencia [18] para cada concepto.

5.1 Protección anticorrosiva

Pintura del buque

El peso de la pintura del buque “P_{pintura}” se obtiene como porcentaje del peso del acero (obtenido en el punto 4), a través de la siguiente expresión:

$$P_{\text{pintura}} = 0,007 \cdot P_{\text{AC}} = 0,007 \cdot 22.365,97 = 156,69 \text{ t}$$

Protección catódica

Se supone una protección por ánodos de sacrificio de aluminio de alto rendimiento y dos años protección siendo el peso del sistema igual a:

$$P_{\text{Anodos sacrificio}} = 0,0004 \cdot S_m \cdot \frac{3,5}{12} \cdot 2$$

Donde “S_m” es la superficie mojada del casco que es igual a 18.704 m², por tanto:

$$P_{\text{Anodos sacrificio}} = 0,0004 \cdot 18.704 \cdot \frac{3,5}{12} \cdot 2 = 4,36 \text{ t}$$

Además hay que añadir el peso de la protección catódica de los tanques de lastre de los petroleros que se estima con la siguiente expresión:

$$P_{\text{Protección tanques de lastre}} = 0,001 \cdot A_t \cdot \frac{3,5}{12} \cdot 2$$

Donde “A_t” es la superficie total de los tanques de lastre que se puede aproximar por:

$$A_t = 1,2 \cdot \text{Volumen total de lastre} = 1,2 \cdot 53.653,9 = 64.384,7 \text{ m}^2$$



Y el peso de la protección catódica de los tanques de lastre es:

$$P_{\text{Protección tanques de lastre}} = 0,001 \cdot 64.384,7 \cdot \frac{3,5}{12} \cdot 2 = 37,56 \text{ t}$$

El peso total de la protección anticorrosiva es **198,48 t**.

5.2 Equipo de amarre y fondeo

La capacidad total de amarre, en toneladas de tiro del buque es 10 x 9 t, el peso del equipo de amarre se calcula a través de la siguiente expresión:

$$P_{\text{Amarre}} = 4,581 \cdot \text{Tiro total E. amarre}^{0,623} = 4,581 \cdot 90^{0,623} = 75,59 \text{ t}$$

El peso del equipo de fondeo se obtiene a través del numeral de equipo del buque "NE" (que fue calculado en el cuaderno 10-punto 3.2 y vale 5.685) a través de la siguiente fórmula:

$$P_{\text{Fondeo}} = -0,02 \cdot \left(\frac{\text{NE}}{1.000} \right)^2 + 56,7 \cdot \left(\frac{\text{NE}}{1.000} \right) - 24 = 297,69 \text{ t}$$

5.3 Equipo de navegación

El peso de los equipos que integran este concepto es muy variable, dependiendo de la cantidad y calidad de las ayudas a la navegación. Se recomienda tomar entre 2 y 20 t por lo que para el buque proyecto se tomará un valor de 15 toneladas.

5.4 Equipo de gobierno

El peso del equipo de gobierno " P_{Gobierno} " incluye timón, mecha, servomotor hidráulico, electrobombas hidráulicas y polines, se calcula por:

$$P_{\text{Gobierno}} = 0,0224 \cdot A_{\text{timón}} \cdot v_{\text{pruebas}}^{3/2} + 2$$

Donde:

- " $A_{\text{timón}}$ " Es el área total del timón que fue obtenida en el Cuaderno 5 (punto 5), que vale 78,62 m².
- " v_{pruebas} " Velocidad en pruebas a plena carga que se tomará igual a la velocidad de servicio del buque 15,2 nudos.

Por tanto el peso del equipo de gobierno es:

$$P_{\text{Gobierno}} = 0,0224 \cdot 78,62 \cdot 15,2^{3/2} + 2 = 106,36 \text{ t}$$



5.5 Equipo de salvamento

Se obtiene a través del número máximo de personas a bordo, que para el buque proyecto es 40, como:

$$P_{\text{Salvamento}} = 12 + 0,01 \cdot \text{Personas a bordo} = 12 + 0,01 \cdot 40 = 12,40 \text{ t}$$

5.6 Equipos de contraincendios

Equipo contraincendios de cámara de máquinas

El peso del sistema de CO₂ de cámara de máquinas se obtiene a través de:

$$P_{\text{SIC.máquinas}} = 0,0025 \cdot V_{\text{C.máquinas}} + 1$$

Siendo “V_{C. máquinas}” el volumen de cámara de máquinas que vale 23.854 m³ por lo que:

$$P_{\text{SIC.máquinas}} = 0,0025 \cdot 23.854 + 1 = 60,63 \text{ t}$$

Instalación contraincendios por espuma en tanques de carga

Se obtiene por:

$$P_{\text{SIZ Carga}} = \frac{4 \cdot L \cdot B + 1.400}{1.000} = \frac{4 \cdot 260 \cdot 47 + 1.400}{1.000} = 50,28 \text{ t}$$

En el peso de la instalación se incluyen el peso de los tanques, bombas, tuberías y cañones contraincendios del sistema.

Sistema de contraincendios por agua salada y sistema automático de rociadores en acomodación

No se ha encontrado ninguna función para obtener el peso de ninguno de estos sistemas por lo que se aproximará el peso de ambos a 140,00 t.

Extintores portátiles de incendios

Se disponen a bordo un total de 2x36 extintores, suponiendo un peso unitario de 10 kg se tiene que el peso total de todos ellos es 0,72 t.

En resumen, el peso total de todos los sistemas contraincendios es de **251,63 t**.



5.7 Sistemas de la carga

Accesos y escaleras de tanques

El peso de los accesos a los tanques incluyendo brazolas y accesorios se obtiene a través de:

$$P_{\text{Accesos}} = \text{Número de tanques de carga} \cdot 0,417 = 14 \cdot 0,417 = 5,84 \text{ t}$$

Por otro lado, el peso total de las escaleras de acceso a cada tanque considerando que son de acero inoxidable y que incluyen una plataforma es:

$$P_{\text{Escaleras tanques}} = N^{\circ} \text{T. Carga} \cdot \left(a + 351 \cdot \left(\frac{D - D_{df}}{1.000} \right) \right)$$

Siendo “D_{df}” la altura del doble fondo y a = 9,6 por ser la altura mayor de 6 metros, por tanto:

$$P_{\text{Escaleras tanques}} = 14 \cdot \left(9,6 + 351 \cdot \left(\frac{24,40 - 2,60}{1.000} \right) \right) = 241,53 \text{ t}$$

Peso de las bandejas del colector de carga

El peso es proporcional a la longitud de la bandeja que depende del número de segregaciones que el buque puede transportar (en este caso son 3):

$$P_{\text{Bandejas}} = a \cdot dTU \cdot N_s$$

Siendo a=0,004 por tener el buque menos de 6 segregaciones, dTU el diámetro de nominal de las tuberías de carga que se toma igual a 600 mm y N_s = 3 es el número de segregaciones, por lo que:

$$P_{\text{Bandejas}} = 0,004 \cdot 600 \cdot 3 = 7,2 \text{ t}$$

Peso de la pasarela

Con enjaretados y barandillado, incluye las escaleras de acceso, miradores, plataformas, etc.

$$P_{\text{Pasarela}} = \frac{(87,5 \cdot L_P + 19,2 \cdot L_P \cdot D_P + 1.594 \cdot N_p + 288 \cdot N_s)}{1000}$$

Siendo:

- “L_P” longitud de la pasarela = 197,93 m
- “D_P” Altura de la pasarela = 1,00 m
- “N_p” Número de plataformas = 6
- “N_s” Número de escaleras = 10

Por lo que el peso total de la pasarela de la zona de carga es:



$$P_{\text{Pasarela}} = \frac{(87,5 \cdot 197,93 + 19,2 \cdot 197,93 \cdot 1,00 + 1.594 \cdot 6 + 288 \cdot 10)}{1000} = 67,77 \text{ t}$$

Peso de las grúas de manifolds

Se aproxima el peso estas grúas a través de la siguiente expresión:

$$P_{\text{Grúas}} = 2 \cdot (a + Q_{\text{gr}} + b \cdot (A_{\text{gr}} - 8) + 0,1 \cdot Q_{\text{gr}} \cdot A_{\text{gr}})$$

Siendo:

- “Qgr” Capacidad de las grúas = 15 t
- “Agr” Alcance de las grúas = 18 m
- “a” Coeficiente en función de la capacidad de la grúa = 7,8
- “b” Coeficiente en función de la capacidad de la grúa = 0,7875

Teniendo esto en cuenta el peso de ambas grúas es:

$$P_{\text{Grúas}} = 2 \cdot (7,8 + 15 + 0,7875 \cdot (18 - 8) + 0,1 \cdot 15 \cdot 18) = 303,75 \text{ t}$$

Equipos de carga en cámara de bombas

El peso de este equipo se puede obtener por la expresión:

$$P_{\text{Equipo C.b.}} = 0,7 \cdot \text{TPM}^{0,5} = 271,11 \text{ t}$$

Tuberías

Para el cálculo del peso de las tuberías del sistema de carga se va a suponer un diámetro medio de 350 mm y una longitud total de cinco veces la eslora de la zona de carga. Se suponen además tuberías cilíndricas de acero con un espesor de 12,5 mm por lo que su peso total es:

$$P_{\text{Tuberías}} = 2\pi d \cdot \text{Longitud} \cdot e \cdot \rho_{\text{Acero}} = 2\pi \cdot 0,35 \cdot 5 \cdot 206 \cdot 0,0125 \cdot 7,85 = 222,26 \text{ t}$$

Sistema de calefacción de los tanques de carga

Hay que estimar en primer lugar la superficie total exterior de los serpentines a partir del calor que es necesario transferir al volumen total de carga “q”, ello se hizo en el cuaderno 7-punto 7.8.5 y es 17.359.082 kcal/h = 20.156 kW.

La superficie necesaria de los serpentines se estima a través de la siguiente expresión:

$$q = S_{\text{serpentines}} \cdot k \cdot (T_{\text{Serpentín}} - T_{\text{Crudo}})$$

Donde:



- “S_{serpientes}” es la superficie lateral total de los serpentines de calefacción de la carga.
- “k” Es el coeficiente de convección entre serpentín y carga que se toma igual a 100 kcal/h m² °C
- “T_{Serpentín}” la temperatura del vapor en el interior del serpentín, ésta se toma igual a la temperatura de saturación a la presión de trabajo de la planta de vapor (7kgf/cm²) que es 164,2 °C.
- “T_{crudo}” es la temperatura media del crudo durante el proceso de calentamiento, se toma igual a 42,5 °C.

Por tanto la superficie de los serpentines ha de ser:

$$q = S_{\text{serpientes}} = \frac{q}{k \cdot (T_{\text{Serpentín}} - T_{\text{Crudo}})} = \frac{17.359.082}{100 \cdot (164,2 - 42,5)} = 1.426,4 \text{ m}^2$$

El peso total del sistema es igual a:

$$P_{\text{Calefacción de la carga}} = \frac{\left(\frac{S_{\text{Serpientes}}}{0,189} + 3 \cdot L_{\text{tc}} + \frac{B}{3} + N^{\circ} \text{t. carga} \right) \cdot a}{1.000}$$

Siendo:

- “L_{tc}” eslora de la zona de carga = 206 m
- “B” Manga del buque = 47 m
- “a” Coeficiente en función de la instalación de calefacción, para instalaciones de vapor es igual a 6,3

$$P_{\text{Calefacción de la carga}} = \frac{\left(\frac{1.426,4}{0,189} + 3 \cdot 206 + \frac{47}{3} + 14 \right) \cdot 6,3}{1.000} = 51,63 \text{ t}$$

Sistema de gas inerte

El peso de la instalación se calcula en función de su capacidad por la siguiente expresión:

$$P_{\text{Gas inerte}} = \frac{a \cdot C_i}{1.000} + b$$

Donde:

- “C_i” capacidad del sistema es igual a 13.125 m³/h (Dimensionado en el cuaderno 7 – punto 7.8.3)
- “a” y “b” son coeficientes en función de la capacidad del sistema que valen respectivamente 0,9833 y 2,059

El peso de la instalación de gas inerte es por tanto:

$$P_{\text{Gas inerte}} = \frac{0,9833 \cdot 13.125}{1.000} + 2,059 = 14,96 \text{ t}$$

El peso total de todos los elementos que se han descrito en este apartado es **1.186,05 t**.



5.8 Cierres y accesos

Escaleras externas

El peso viene dado por la fórmula:

$$P_{\text{Escaleras}} = 0,8 \cdot NH + 0,6$$

Siendo “NH” el número de cubiertas de las superestructuras; Las escaleras de la superestructura de habilitación tienen un peso de:

$$P_{\text{Escaleras Habilitación}} = 2 \cdot (0,8 \cdot 6 + 0,6) = 10,80 \text{ t}$$

Las de la superestructura del guardacalor y chimenea:

$$P_{\text{Escaleras s.guardacalor y chimenea}} = 2 \cdot (0,8 \cdot 1 + 0,6) = 2,80 \text{ t}$$

El peso total de las escaleras exteriores es por tanto **13,60 t**.

Puertas

Se consideran aquí las puertas de acero estancas que dan acceso a los locales cerrados desde el exterior que hacen un total de 26, suponiendo un peso unitario de cada puerta de 0,4 t se tiene un total de **10,40 t** para esta partida.

Portillos y ventanas

Esta partida se obtiene en función del número de tripulantes como:

$$P_{\text{portillos y ventanas}} = 0,12 \cdot N^{\circ} \text{ de tripulantes} = 0,12 \cdot 40 = 4,80 \text{ t}$$

El peso total de los cierres y accesos del buque es **28,80 t**.

5.9 Peso habilitación

El cálculo del peso de la habilitación se va a realizar con las densidades superficiales y el área de los distintos tipos de locales.

En la referencia [18] se dan una serie de valores típicos de densidad superficial en función del tipo de local, el peso resultante incluye también el correspondiente a los mamparos divisorios. Los cálculos para el peso de la habilitación se presentan en la siguiente tabla:



Tipos de locales	Área total (m ²)	Densidad superficial (kg/m ²)	Peso (t)
Camarotes Oficiales	262,0	135	35,37
Camarotes tripulación	257,9	160	41,26
Comedores y salones	87,7	120	10,52
Pasillos y escaleras	372,1	90	33,49
Aseos	78,0	250	19,50
Cocina	37,9	200	7,58
Oficios	16,8	215	3,61
Gambuza seca y pañoles	82,8	60	4,97
Lavaderos y secaderos	21,6	150	3,24
Gambuza frigorífica	27,6	190	5,24
Salas de control	27,3	200	5,46
Puente	237,7	180	42,79
Oficinas	72,4	190	13,76
Hospital y enfermería	25,6	260	6,66
Talleres	38,9	280	10,89
Otros locales de servicios	45,5	180	8,19
Grúas de provisiones	-	-	31,87
TOTAL			284,40

5.10 Peso y centro de gravedad del equipo y la habilitación

El peso de cada una de las partidas de este punto se presenta en la siguiente tabla:

Partida	Peso (t)
Protección anticorrosiva	198,48
Equipo de amarre y fondeo	373,28
Equipo de navegación	15,00
Equipo de gobierno	106,36
Equipo de salvamento	12,40
Equipos de contraincendios	251,63
Equipos de la carga	1.186,05
Cierres y accesos	28,80
Habilitación	284,40
TOTAL	2.449,43

Con respecto a la posición del centro de gravedad del equipo y habilitación se hacen las siguientes consideraciones:



- Posición longitudinal “X_{P_EyH}”, se estima mediante la relación de esloras y abscisas con otros proyectos y es igual a 107,52 m.
- Altura “Z_{P_EyH}”, se estima a través de la siguiente expresión:

$$Z_{P_EyH} = D + 2,50 = 24,40 + 2,50 = 26,90 \text{ m}$$

Llegados a este punto se decide tomar un margen del 3% tanto para el peso como para la altura del centro de gravedad del equipo y habilitación. Por tanto el peso del equipo y habilitación y su centro de gravedad es:

Partida	Peso (t)	X _P (m)	Z _P (m)
Equipo y habilitación	2.522,91	107,52	27,71



6 PESO Y CENTRO DE GRAVEDAD DE LA MAQUINARIA

Esta partida comprende los siguientes sistemas y equipos:

- Maquinaria propulsora
- Línea de ejes, chumacera y bocinas
- Hélice
- Sistema de combustible
- Sistema de lubricación
- Sistema de aire comprimido
- Sistema de refrigeración (incluyendo generador de agua dulce)
- Planta de vapor
- Sistema de generación de agua caliente
- Grupos electrógenos
- Sistemas de lastre
- Sistema de sentinas
- Sistema sanitario de alimentación y descargas
- Exhaustación en cámara de máquinas
- Pisos y techos en cámara de máquinas
- Ventilación y extracción de cámara de máquinas
- Paños y talleres de cámara de máquinas
- Cuadros eléctricos principales y secundarios
- Transformadores, baterías y grupos convertidores
- Alumbrado (Excepto habilitación)

Además, el peso de la maquinaria se descompone en el peso de la maquinaria propulsora “P_MP” y peso restante de la maquinaria “P_RM”.

6.1 Peso de la maquinaria propulsora

Esta partida se divide a su vez en el peso del motor propulsor “P_{Motor}” y peso restante de la maquinaria propulsora “P_{RMPpropulsora}”

El peso del motor propulsor se conoce, ya que viene especificado en su manual de especificación y es igual a 628,35 t (lleno de líquidos).

El peso restante de la maquinaria propulsora se calcula a través del método del Lloyd's Register como:

$$P_{RMPpropulsora} = c \cdot BHP^d$$

Donde “c” y “d” son coeficientes en función del tipo de motor y del tipo de buque; para este caso valen respectivamente 0,59 y 0,70; “BHP” es la potencia al freno máxima del motor en Cv que es 29.607 Cv, por lo que:

$$P_{RMPpropulsora} = 0,59 \cdot 29.607^{0,7} = 795,85 \text{ t}$$

Y el peso total de la maquinaria propulsora es:



$$P_{MP} = P_{Motor} + P_{RMPropulsora} = 628,35 + 795,85 = \mathbf{1.424,20\ t}$$

6.2 Peso del resto de la maquinaria

El peso de la maquinaria restante independiente de la propulsión, que en su mayor parte se encuentra dentro de cámara de máquinas, se estima mediante la siguiente fórmula (también recomendada por el Lloyds Register):

$$P_{RM} = k \cdot VE^l + h \cdot L_{eje} \cdot (j \cdot L + 5)$$

Donde:

“VE”: Es el volumen de cámara de máquinas que vale 23.854 m³.

“L_{eje}”: Es la longitud de la línea de ejes fuera de cámara de máquinas que vale 3,78 m.

“L”: Eslora entre perpendiculares del buque igual a 260 m.

“k”, “l”, “h” y “j” son coeficientes en función del tipo de buque, motor y número de hélices, para este caso valen:

- k = 0,0395
- l = 1,0000
- h = 1,0000
- j = 0,0164

Con lo cual, el peso del resto de la maquinaria es:

$$P_{RM} = 0,0395 \cdot 23.854^{1,0000} + 1,0000 \cdot 3,74 \cdot (0,0164 \cdot 260 + 5) = 976,88\ t$$

6.3 Peso y centro de gravedad de la maquinaria

Teniendo en cuenta todo lo anterior el peso total de la maquinaria del buque es:

$$P_{MQ} = P_{MP} + P_{RM} = 1.424,20 + 976,88 = \mathbf{2.401,08\ t}$$

En cuanto al centro de gravedad se hacen las siguientes consideraciones:

- Posición longitudinal “X_{P_MQ}”, se tomará igual al de la cámara de máquinas puesto que la mayor parte de estos sistemas se encuentran dentro de ella y su peso se distribuye aproximadamente uniforme a lo largo de su eslora con lo cual, se toma X_{P_MQ} = 28,64 m.
- Altura “Z_{P_MQ}”, se estima a través de la siguiente expresión (Referencia [1]):

$$Z_{P_{MQ}} = 0,17 \cdot T + 0,36 \cdot D$$

Donde “T” y “D” son respectivamente el calado de proyecto y el puntal del buque, por lo la altura del centro de gravedad de la maquinaria es:

$$Z_{P_{MQ}} = 0,17 \cdot 16,80 + 0,36 \cdot 24,40 = 11,640$$



Como el conocimiento del peso de la maquinaria es escaso y se ha obtenido por medio de expresiones empíricas, se va a tomar un margen del 5% tanto en el peso como en la altura del centro de gravedad por lo que los valores finales que definen esta partida son:

Partida	Peso (t)	X _P (m)	Z _P (m)
Maquinaria	2.521,13	28,64	12,22



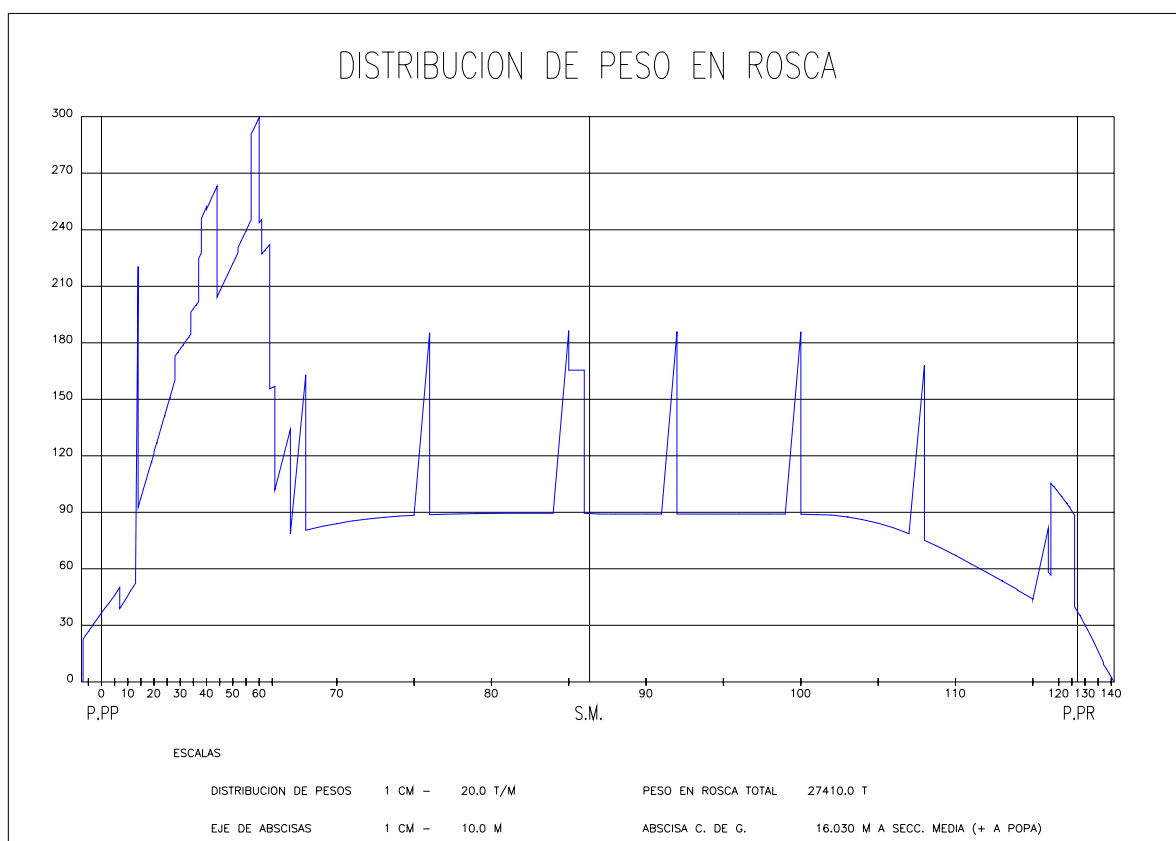
7 MÁRGENES. PESO Y CENTRO DE GRAVEDAD EN ROSCA. DISTRIBUCIÓN LONGITUDINAL

Las diferentes partidas en las que se ha dividido el peso en rosca y la posición de sus respectivos centros de gravedad son:

Partida	Peso (t)	X _P (m)	Z _P (m)
Acero	22.365,97	124,31	13,49
Equipo y habilitación	2.522,91	107,52	27,71
Maquinaria	2.521,13	28,64	12,22
TOTAL	27.410,01	113,97	14,68

Los márgenes tomados se han especificado en los puntos donde se hace el desglose de las distintas partidas.

En cuanto a la distribución longitudinal del peso en rosca, se ha hecho en base a la posición de los distintos elementos en el buque, para el acero longitudinal se ha usado la distribución recomendada por el Lloyds Register que está disponible dentro de las opciones del módulo LOAD de FORAN60. La distribución longitudinal del peso en rosca se muestra en el siguiente gráfico:





8 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Durante el desarrollo de todo el proyecto se ha hecho uso de una serie de referencias bibliográficas, las cuales se enumeran a continuación:

- [1] Ricardo Alvariño Castro, Juan José Azpíroz y Manuel Meizoso..; *“El proyecto básico del buque mercante”*, Ed. Fondo Editorial de Ingeniería Naval; Pub. 2007.
- [2] Lamb, Thomas (Written by an international group of authorities); *“Ship design and construction”*, Ed. Society of Naval Architects and Marine Engineers; Pub 2004.
- [3] Holtrop, J. y Mennen G.G.J.; *“An approximate power prediction method”*, International Shipbuilding Progress; Pub 1982.
- [4] Antonio Vaquero; *“Teoría del buque. Lecciones de resistencia al avance”*, Departamento de Artes Gráficas E.T.S.I.N.; Edición 2002.
- [5] Antonio Vaquero; *“Teoría del buque. Introducción a la propulsión de buques”*, Departamento de Artes Gráficas E.T.S.I.N.; Edición 2005.
- [6] Capitán I.G. Reigadas; *“El buque tanque”*, Ediciones EDG; Pub 2004.
- [7] David G. M. Watson; *“Practical Ship Design”*, ELSEVIER OCEAN ENG. BOOK SERIES; Pub 1998.
- [8] Guillermo Ricardo Gadea; *“Los buques tanque y su clasificación”*, PETROTECNIA; Abril 2004
- [9] M.A. Meizoso, J.L. Garcés; *“Apuntes de proyectos”*, Departamento de Artes Gráficas E.T.S.I.N.
- [10] G. Pérez; *“Teoría del buque (Máquinas) Tomo II-B”*, Departamento de Artes Gráficas E.T.S.I.N.
- [11] Antonio Baquero; *“Análisis de comportamiento del buque bajo la acción del timón. Aspectos hidrodinámicos y de proyecto”*, Tesis Doctoral; Canal de experiencias hidrodinámicas, el Pardo; Publicación núm. 66. Madrid, Noviembre de 1981.
- [12] Álvaro Zurita y Sáez de Navarrete; *“Introducción al diseño de cámara de máquinas”*, Sección de Publicaciones E.T.S.I.N.
- [13] K. Van Dokkum; *“Ship knowledge, a modern encyclopedia”*, Editorial Dokmar; Pub 2003
- [14] Luis Ramón Núñez Rivas; Apuntes de clase de la asignatura “Instalaciones de vapor”, Año 2006.



- [15] Alfonso López de Asiaín Zabia; Apuntes de clase de la asignatura “Equipo y servicios”, Año 2004.
- [16] Amable López Piñeiro; *“Electricidad aplicada al buque – Diseño general de la planta eléctrica”*, Departamento de Artes Gráficas E.T.S.I.N; Pub 1999.
- [17] Amable López Piñeiro; *“Distribución eléctrica a bordo”*, Departamento de Artes Gráficas E.T.S.I.N; Pub 1999.
- [18] Manuel Meizoso Fernández y José Luis García Garcés. *“Desplazamiento. Cálculo iterativo del peso en rosca y el peso muerto”*, Departamento de publicaciones de la ETSIN; Pub Junio 2000
- [19] Manuales de FORAN60.
- [20] *“Common Structural Rules for Double Hull Oil Tankers (CSR)”* publicadas por IACS y en vigor desde el 1 de Abril de 2006
- [21] Lloyds Register of Shipping; *“Rules and Regulations for the Classification of Ships”*; Edición de 2007
- [22] Convenio SOLAS, Edición consolidada 2004.
- [23] Convenio MARPOL 73/78/90 y enmiendas.
- [24] Convenio Internacional sobre Líneas de Carga de 66/88 (Edición revisada 2005).
- [25] Convenio Internacional de 23 de Junio de 1969, sobre Arqueo de Buques hecho en Londres. En vigor desde 18 de Julio de 1982.
- [26] Lloyd’s Register of Shipping; *Lloyd’s Register Information*; <http://www.lr.org>
- [27] Base de datos de buques de Lloyd’s Register of Shipping; <http://www.sea-web.com>
- [28] Jaime Torroja Méndez. *“Apuntes de proyectos. Volumen 1”*, Departamento de publicaciones de la ETSIN; Pub 1987.
- [29] *“Standards for Oil Tanker Manifolds and Associated Equipment”*, Oil Companies International Marine Forum (OCIMF). 3rd Edition 1981.
- [30] *“Recommendations for Equipment Employed in the Mooring of Ships at Single Point Moorings”*, Oil Companies International Marine Forum (OCIMF). 2nd Edition, 1988.
- [31] *“Shipping and shipbuilding markets. Annual Review 2009”*, Barry Rogliano Salles. Pub 2009.

PROYECTO 1.731
PETROLERO PARA CRUDO 150.000 TPM

CUADERNO 9

*SITUACIONES DE CARGA Y
RESISTENCIA LONGITUDINAL*



Tutor: D. Francisco Alonso Thous

Realizado por: José Antonio Durango Ramón



CONTENIDOS

1	INTRODUCCIÓN	2
2	NOMENCLATURA	3
3	SITUACIONES DE CARGA CONSIDERADAS	4
4	CRITERIOS APLICABLES SEGÚN REGLAMENTOS	6
4.1	Calados mínimos y asientos máximos	6
4.2	Estabilidad estática y dinámica. Buque intacto.....	7
4.3	Estabilidad después de averías	8
5	CONSIDERACIONES DE CÁLCULO DE LAS SITUACIONES DE CARGA.....	12
6	CÁLCULO DE LAS SITUACIONES DE CARGA.....	14
6.1	SC-0001 Buque a plena carga – condición de salida.....	15
6.2	SC-0002 Buque a plena carga – condición de llegada.....	20
6.3	SC-0003 Buque en lastre– condición de salida.....	25
6.4	SC-0004 Buque en lastre – condición de llegada.....	30
6.5	SC-0005 Condición de lastre IMO	35
6.6	SC-0006 Buque en lastre – condición de salida con mal tiempo	40
6.7	SC-0007 Buque en lastre – condición de llegada con mal tiempo	45
7	ESTABILIDAD DESPUÉS DE AVERÍAS	50
7.1	SC-0001 Buque a plena carga – condición de salida.....	51
7.2	SC-0002 Buque a plena carga – condición de llegada.....	52
7.3	SC-0003 Buque en lastre – condición de salida.....	53
7.4	SC-0004 Buque en lastre – condición de llegada.....	54
7.5	SC-0005 Condición de lastre IMO	55
7.6	SC-0006 Buque en lastre – condición de salida con mal tiempo	56
7.7	SC-0007 Buque en lastre – condición de llegada con mal tiempo	57
8	TABLAS RESUMEN Y ANÁLISIS DE LAS SITUACIONES DE CARGA.....	58
9	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	59



1 INTRODUCCIÓN

En este cuaderno se parte del peso en rosca (definido en el cuaderno 8) y del peso muerto del buque para estudiar su comportamiento ante las diversas condiciones de carga en las que se encuentran este tipo de buques durante su vida útil.

En cada situación de carga se va a evaluar la estabilidad y la resistencia longitudinal tal como se expone en el punto 4 del presente documento, para ello se hará uso del módulo LOAD del programa FORAN60.

Además también se realiza un estudio de la estabilidad después de averías, las cuales son definidas en el punto 4.3. Ello se realizará en el módulo FLOOD de FORAN60.

En el punto 8 se presenta un resumen de los principales parámetros obtenidos en cada situación de carga así como la resistencia longitudinal que debe estar dentro de los límites establecidos por el reglamento que define la estructura, la cual ha sido descrita en el Cuaderno 6.



2 NOMENCLATURA

Variable	Descripción (unidades)
L_L	Eslora reglamentaria (m)
GZ	Brazo adrizante (m)
A_x	Área bajo la curva de brazos adrizantes hasta el ángulo "x" (mm rad)
GM	Altura metacéntrica (m)
x	Abscisa referida a la perpendicular de popa (m)
KN	Brazo de palanca (m)
KM	Altura del metacentro sobre la línea de base (m)
KG	Altura del centro de gravedad sobre línea base (m)
Δ	Desplazamiento (t)
T	Calado (m)



3 SITUACIONES DE CARGA CONSIDERADAS

Las situaciones de carga representan escenarios que intentan cubrir los distintos posibles estados de carga en los que se va a encontrar el buque durante su operación normal. Para la elección de estas situaciones de carga se parte de las recomendaciones de la OMI que figuran en el apéndice II de los "Criterios de estabilidad sin averías aplicables a los buques de pasaje y a los buques de carga" publicado en 1987.

Estas recomendaciones, que figuran en el Anexo II del documento, se basan en una serie de hipótesis recogidas en el punto 2 de dicho apéndice. Las situaciones que se establecen son:

- Buque a plena carga - condición de salida (SC-0001): En esta condición todos los tanques de carga (incluidos los tanques slop) se encuentran llenos así como los tanques de combustible, aceite lubricante, agua dulce (potable y técnica) y aguas residuales (negras y grises) puesto que no pueden ser descargadas en puerto.
- Buque a plena carga - condición de llegada (SC-0002): Condición similar a la anterior pero con el 10 % de la capacidad total combustible y con los tanques de lodos y sentinas llenos.
- Buque en lastre - condición de salida (SC-0003): En esta condición se encuentran llenos los tanques de lastre, estando vacíos los de carga, además están llenos los tanques de combustible, aceite lubricante, agua dulce (potable y técnica) y aguas residuales.
- Buque a plena carga - condición de llegada (SC-0004): Condición similar a la anterior pero con el 10 % de la capacidad total de combustible y llenos los tanques de lodos y sentinas.

Además, en las distintas condiciones de carga hay que añadir las siguientes partidas que completan el peso muerto del buque:

- Víveres: En el punto 7.11.2 del cuaderno 7 se justificó que la cantidad total de víveres que el buque debe llevar a bordo son 18 toneladas. Este peso se supone distribuido uniformemente en las gambuzas del buque.
- Tripulación y efectos: se considera un peso de 140 kg por persona (incluyendo equipaje) como la capacidad máxima del buque es de 40 personas el peso total de esta partida es de 5,6 toneladas, el cual se distribuye uniformemente sobre la superestructura de habilitación.
- Pertrechos: Se consideran como pertrechos todos aquellos elementos inconsumibles o no necesariamente consumibles, que el Armador añada tales como repuestos o necesidades adicionales del buque (pinturas, estachas y cabos adicionales, etc) el peso de esta partida se estima en 100 t y se reparte a lo largo de ambas superestructuras.

En las condiciones de salida naturalmente se considera el peso completo de estas tres partidas, para las condiciones de llegada se considera el peso completo de tripulación y pertrechos y sólo el 10% del peso de los víveres.



El 10% del peso de combustible en las situaciones de llegada se reparte entre los tanques de servicio diario y sedimentación lo que supone un volumen de 406,3 m³.

Además de las situaciones descritas anteriormente, se van a considerar unas situaciones de carga adicionales que son:

- Condición de lastre IMO/MARPOL (SC-0005): En esta situación se considera únicamente el peso en rosca y el peso contenido en los tanques de lastre llenos al 100 %.

Las siguientes condiciones de carga se consideran en relación al Apartado 3 de la Regla 18-Parte A del Anexo I de *MARPOL*, el cual establece que se permite cargar agua de lastre adicional en los tanques de carga para mantener la seguridad del buque en los viajes en que las condiciones meteorológicas sean muy duras y en casos excepcionales siempre a juicio del Capitán del buque.

La regla solo permite cargar agua de lastre en aquellos tanques de carga que hayan sido lavados con crudo (según lo dispuesto en la regla 35 del Anexo I de *MARPOL*), por lo que en ambas condiciones se suponen llenos de agua de mar los tanques de carga N° 3 de babor y estribor, que pueden ser lavados en la terminal de descarga en previsión de tales circunstancias. Las situaciones de carga que se van a considerar a este respecto son:

- Buque en lastre - condición de salida con mal tiempo (SC-0006): Situación similar a la 0003 (Salida en lastre) pero con los tanques de carga No.3 llenos de agua de mar.
- Buque a plena carga - condición de llegada con mal tiempo (SC-0007): Situación similar a la 0004 (Llegada en lastre) añadiendo el contenido de agua de mar de los tanques de carga 3 de babor y estribor.



4 CRITERIOS APLICABLES SEGÚN REGLAMENTOS

Los distintos reglamentos con los que el buque debe cumplir en relación con las situaciones de calado y de estabilidad se analizan en los siguientes puntos:

4.1 Calados mínimos y asientos máximos

Para la condición de lastre IMO/MARPOL el calado mínimo del buque así como el asiento máximo queda regulado tanto por la regla 18-parte A del Anexo I de MARPOL como por la regla 3.1.2. de la Sección 5 de las CSR (el mismo requisito):

3.1.2 Capacity of ballast tanks

3.1.2.1 The capacity of the segregated ballast tanks shall be so determined that the ship may operate safely on ballast voyages without recourse to the use of cargo tanks for water ballast. The capacity of ballast shall be at least such that, in any ballast condition at any part of the voyage, including the conditions consisting of lightweight plus segregated ballast only, the ships draught and trim can meet the requirements in 3.1.2.2 to 3.1.2.4.

3.1.2.2 The moulded draught amidships, T_{mid} , excluding any hogging or sagging correction, is not to be less than:

$$T_{mid} = 2.0 + 0.02L \quad \text{m}$$

Where:

L rule length, as defined in Section 4/1.1.1.1, in m

3.1.2.3 The draughts at the F.P. and A.P. are to correspond to those determined by the draught amidships, as given in 3.1.2.2, and in association with a trim by the stern not greater than 0.015L (m).

3.1.2.4 The draught at the A.P. is not to be less than that required to obtain full immersion of the propeller(s).

La eslora reglamentaria " L_L " se define como el 96% de la eslora total en una flotación situada al 85% del puntal mínimo de trazado medido desde el canto superior de la quilla, para el buque proyecto vale 260,912 m.

Los requisitos son por tanto:

- El calado de trazado en el centro del buque ($x = 130$ m) no será inferior a $2 + 0,02 L_L = 7,218$ metros.
- Se permite un asiento apopante no superior a $0,015 L_L = 3,914$ m.
- El calado en popa ha de garantizar siempre la inmersión total de la hélice, es recomendable una holgura del 10% de su diámetro para garantizar un rendimiento aceptable, lo que supone un calado a la altura de la hélice ($x=5,36$) de 9,26 metros.

Para el resto de situaciones se exige simplemente que la hélice quede sumergida por el mismo requisito que en MARPOL y un asiento moderado que se fija en 3 metros como máximo, con objeto de evitar pantocazos en proa.



4.2 Estabilidad estática y dinámica. Buque intacto

En cada situación de carga se van a evaluar los criterios IMO de estabilidad intacta, para ello se acude al código de estabilidad intacta establecido por IMO (IS Code adoptado el 8 de Diciembre de 2008 por resolución MSC.267(85)). En este reglamento se establece en su Capítulo 3 lo siguiente:

3.2 Oil tankers of 5,000 dwt and above

Oil tankers, as defined in section 2 (Definitions) of the Introduction, shall comply with regulation 27 of Annex I to MARPOL 73/78.

Por tanto se debe acudir a la Regla 27 del Anexo I de MARPOL en el que se establecen los siguientes criterios:

Estabilidad estática

- El brazo adrizante “GZ” debe ser de al menos 0,2 metros a un ángulo de escora igual o mayor de 30°.
- El máximo brazo adrizante “GZ_{max}” se dará a un ángulo de escora mayor de 25°, y preferiblemente mayor de 30°.

Estabilidad dinámica

- El área que encierra la curva de brazos adrizantes hasta 30° “A_{30°}” no debe ser inferior a **55 mm·rad**.
- El área de la curva de brazos adrizantes hasta los 40° (o cualquier ángulo menor al cual quede sumergido cualquier borde interior de abertura en el casco, superestructura o caseta quedando por debajo de la cubierta y no puede ser cerrado de manera estanca) no será inferior a **90 mm·rad**.
- El área de la curva de brazos adrizantes entre 30° y 40° (o cualquier ángulo menor al cual quede sumergido cualquier borde interior de abertura en el casco, superestructura o caseta quedando por debajo de la cubierta y no puede ser cerrado de manera estanca) no será inferior a **30 mm·rad**.

Altura metacéntrica

- La altura metacéntrica inicial “GM_{C0}”, corregida por superficies libres, medida a 0° de escora, no será menor de **0,150 m**.



4.3 Estabilidad después de averías

Con respecto a la estabilidad en averías el buque ha de cumplir lo establecido en la Regla 28 del Anexo I de MARPOL en el que establecen los siguientes criterios de estabilidad:

- La flotación final de equilibrio en cada avería debe quedar por debajo de cualquier abertura por la que pueda producirse una inundación progresiva (se consideran los venteos de los tanques de carga que son los primeros que se inundarían, puesto que el resto se sitúa a más altura).
- El ángulo de escora producido por la inundación asimétrica no debe exceder los 25°, si bien dicho ángulo podrá aumentarse hasta los 30° si no se produce inundación del canto alto de la cubierta.
- La estabilidad en la flotación final debe tener un alcance mínimo de 20° más allá de la posición de equilibrio, con un brazo adrizante residual máximo de por lo menos 0,1 m dentro de ese margen de 20°. Además, el área bajo la curva dentro de tal margen no deber ser inferior a 17,5 mm rad; Las aberturas no protegidas no deberán quedar sumergidas cuando se esté dentro de dicho margen, a menos que el espacio de que se trate se suponga inundado.

Las averías que deben considerarse se establecen en la Regla 24 y son las siguientes:

	Avería en el costado	Avería en el fondo	
		A 0,3 L P. Proa	En cualquier otro sitio
Extensión longitudinal	13,58 m	13,58 m	5,00 m
Extensión transversal	9,40 m	7,83 m	5,00 m
Extensión vertical	Todo el puntal	3,13 m	3,13 m

El reglamento también establece las permeabilidades que deben considerarse por cada tipo de espacio:

Tipo de espacio	Permeabilidad
Espacios asignados a pertrechos	0,60
Espacios de alojamiento	0,95
Espacios de maquinaria	0,85
Espacios vacíos	0,95
Espacios destinados a líquidos consumibles	0,95
Destinados a otros líquidos	0,95

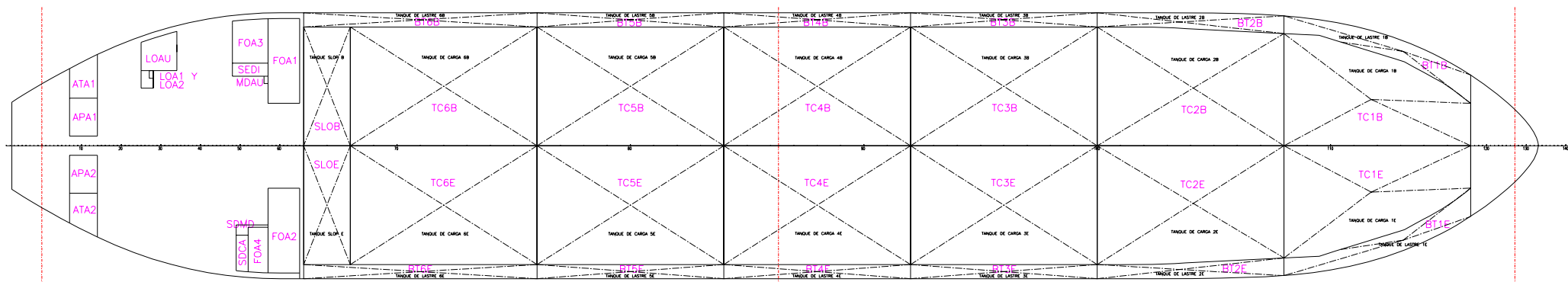
Teniendo en cuenta todo ello se van a considerar un total de 24 averías (siendo todas las posibles con estas condiciones de avería y el compartimentado del buque), las cuales se enumeran en la siguiente tabla:



Avería	Compartimentos inundados
1	PPRO, BT1B, BT1E, TC1B y TC1E
2	TC1B, TC1E, TC2B, TC2E, BT1B, BT1E, BT2B y BT2E
3	TC1B, TC2B, BT1B y BT2B
4	TC2B, TC2E, TC3B, TC3E, BT2B, BT2E, BT3B y BT3E
5	TC2B, TC3B, BT2B, BT3B
6	TC3B, TC3E, TC4B, TC4E, BT3B, BT3E, BT4B y BT4E
7	TC3B, TC4B, BT3B y BT4B
8	TC4B, TC4E, TC5B, TC5E, BT4B, BT4E, BT5B y BT5E
9	TC4B, TC5B, BT4B y BT5B
10	TC5B, TC5E, TC6B, TC6E, BT5B, BT5E, BT6B y BT6E
11	TC5B, TC6B, BT5B y BT6B
12	TC6B, TC6E, SLOB, SLOE, BT6B y BT6E
13	TC6B, SLOB y BT6B
14	SLOB, SLOE, BT6B, BT6E, REDE, doble fondo cámara de máquinas, cámara de bombas y colector de proa de las tomas de mar
15	FOA1, doble fondo cámara de máquinas, cámara de bombas, colector de proa de las tomas de mar y cofferdam entre cámara de máquinas y zona de carga
16	REDE, AGRI, ANEG, doble fondo cámara de máquinas, cámara de bombas, cámara de máquinas y colector de proa de las tomas de mar
17	REDE, FOA1, ANEG, doble fondo cámara de máquinas, cámara de bombas, cámara de máquinas y colector de proa de las tomas de mar
18	REDE, ANEG, AGRI, LODO, SENT, doble fondo cámara de máquinas y cámara de máquinas
19	ANEG, AGRI, LODO, SENT, LOC1, LOCP, doble fondo cámara de máquinas y cámara de máquinas
20	LOCP, LOC1, colector de popa de las tomas de mar, doble fondo cámara de máquinas y cámara de máquinas
21	PPOP, doble fondo cámara de máquinas y cámara de máquinas
22	PPRO, CT1B, BT1B y pañol por encima del pique de proa
23	BT6B, SLOB, FOA1, FOA3, SDM1, SEDI, LOAU, cámara de máquinas, cofferdam entre cámara de máquinas y cántara y doble fondo c.m.
24	LOAU, LOA1, LOA2, ENRO, ATA1, APA1 y local del servo

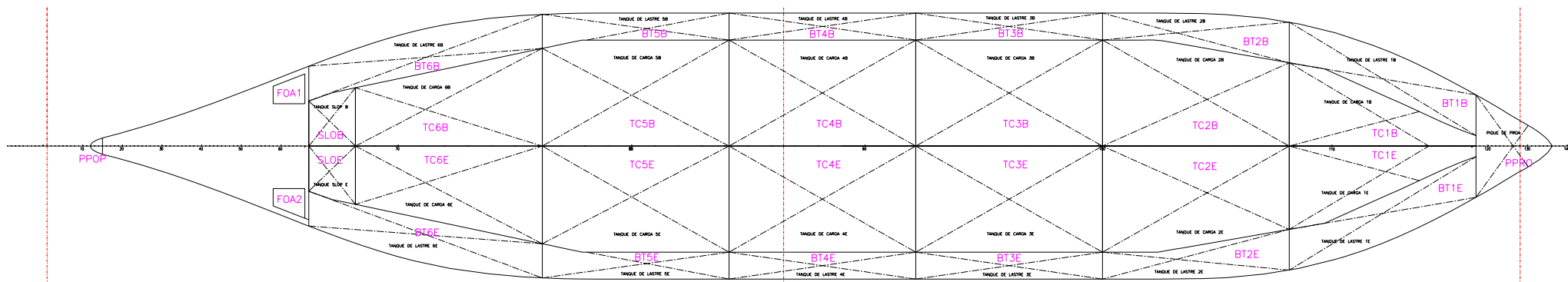
La nomenclatura empleada en cada tanque es la que se que se empleó en el punto 5 del cuaderno 4, en cuanto a los espacios que no son tanques se han enumerado sin suponer ninguna nomenclatura especial. En las siguientes páginas se expone un plano de tanques en las distintas cubiertas del buque

La estabilidad después de averías se va a evaluar para cada condición de carga en el punto 7.

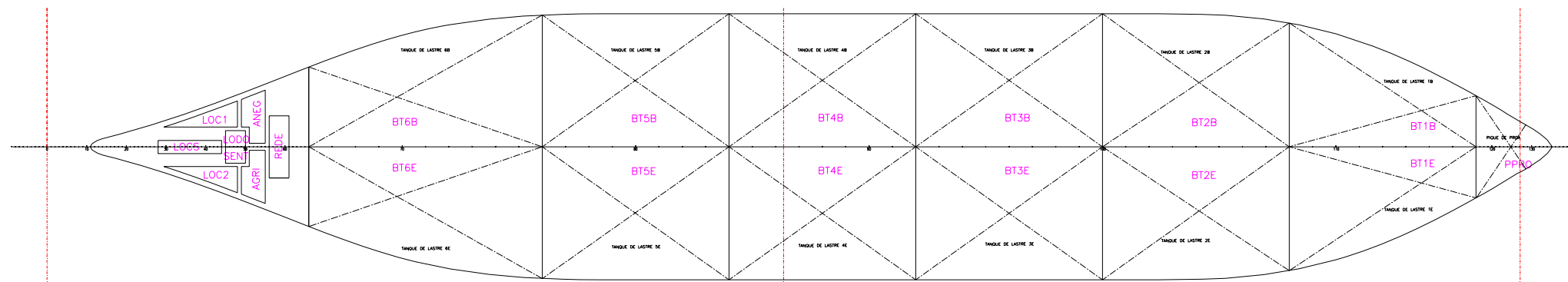




TECHO DOBLE FONDO



TAPA DEL DOBLE FONDO





5 CONSIDERACIONES DE CÁLCULO DE LAS SITUACIONES DE CARGA

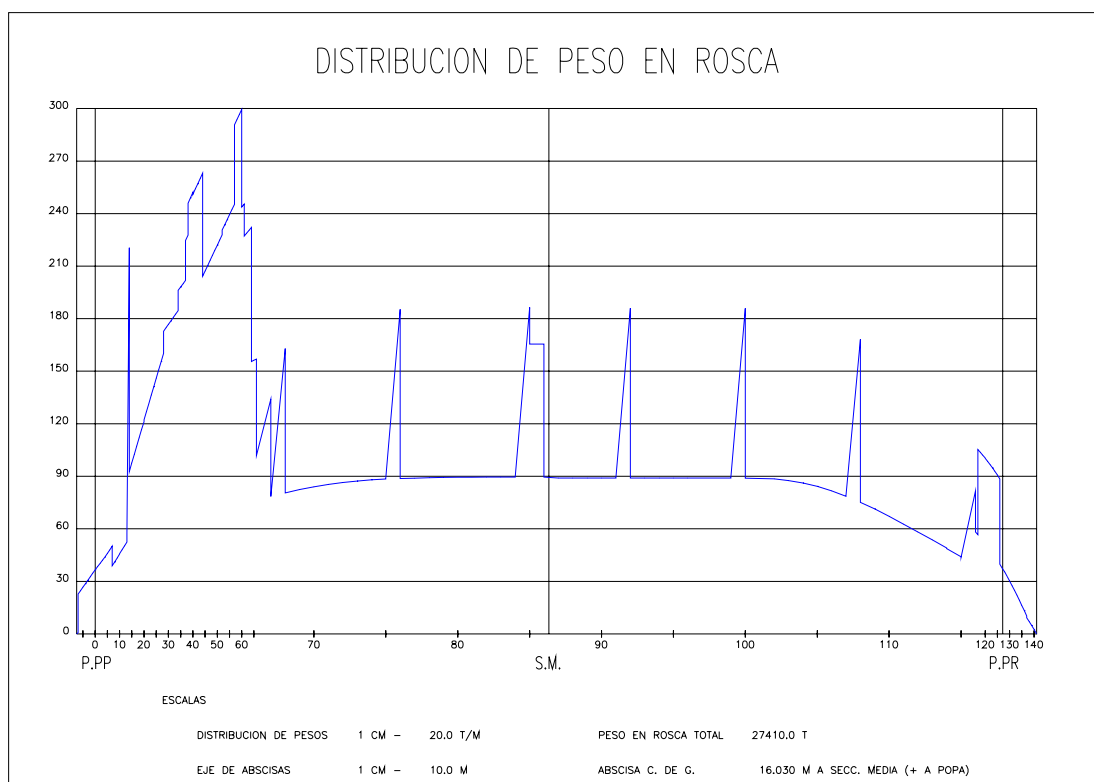
Para el cálculo de las condiciones de carga se utiliza el módulo LOAD de FORAN60, para ello es necesario introducir una serie de criterios de cálculo y datos de entrada, los cuales se describen brevemente a continuación:

Peso en rosca

El desglose del peso en rosca y su centro de gravedad, fueron calculados en el cuaderno 8 de proyecto y es:

Carga	Peso (t)	X _G	Y _G	Z _G
Acero continuo de acero	18.691,8	133,23	0,00	12,77
Pesos locales de acero	3.674,1	78,87	0,00	17,09
Equipo y habilitación	2.522,9	107,52	0,00	27,71
Maquinaria	2.521,1	28,64	0,00	12,22
TOTAL	27.410,0	113,97	0,00	14,68

La distribución longitudinal de este peso es:





Peso muerto

El desglose de peso muerto considerado y su centro de gravedad es:

Carga	Peso (t)	X _G	Y _G	Z _G
Carga (98% de llenado)	145.264,5	13,52	0,00	146,26
Combustible pesado (HFO)	3.494,8	17,24	2,57	40,85
Combustible ligero (MDO)	390,9	14,90	-12,27	36,39
Aceite lubricante	374,5	16,59	12,47	22,33
Agua dulce	460,2	20,87	0,00	7,35
Agua técnica	421,6	21,02	0,00	7,52
Tripulación y efectos	5,6	34,59	0,00	32,40
Viveres	18,0	29,98	0,00	25,78
Pertrechos	100,0	24,32	0,00	25,78
Residuos (Misceláneos)	295,9	35,95	0,00	1,40
TOTAL	150.826,0	13,71	0,06	142,03

Aberturas en el casco

Para realizar los cálculos el programa necesita que se definan las aberturas del casco que pueden causar inundación si quedan en algún momento sumergidas. Para este caso se consideran los accesos a cámara de máquinas desde la cubierta principal situados a ambos costados a la altura de la superestructura, y también las aberturas de los venteos de los tanques de carga, las cuales están situadas en la mitad de la manga que ocupa cada tanque y a una altura sobre cubierta de 2 metros.

Opciones de cálculo

Las opciones de cálculo seleccionadas en el programa son las siguientes:

- Flotación de equilibrio con asiento y escora
- Buque en aguas tranquilas
- Peso específico del agua de mar : 1.025 t/m³
- Descuento por gases : 2,0 %
- Espesor de la plancha de quilla : 0 mm
- Altura metacéntrica calculada para la flotación de equilibrio
- Abscisas referidas a la perpendicular de popa
- Abscisa marca calado (Ppp): 0,00 m. Abscisa marca calado (Ppr): 260.00 m
- No se utilizan las caract. de las secciones del buque (calcula directo)
- Ángulos escora: 0.00 0.25 10.00 20.00 30.00 40.00 50.00 60.00 80.00
- Criterio de estabilidad IMO seleccionado
- Valores KN calculados con trimado libre
- Corrección por superficies libres por momentos escorantes reales
- Corrección por superficies libres considerando escora y trimado

Por último cabe aclarar que en las distintas condiciones de carga se han usado los tanques de lastre del buque para conseguir situaciones de trimado aceptables.



6 CÁLCULO DE LAS SITUACIONES DE CARGA

Como se ha dicho anteriormente los cálculos de las situaciones de carga se van a realizar en el módulo LOAD de FORAN60. Para cada una de ellas se van a presentar los siguientes datos:

- Tabla de todos los tanques del buque y otras cargas indicando el grado de llenado de cada uno de ellos en cada condición.
- Tabla con las principales características hidrostáticas en la flotación de equilibrio.
- Tabla con los criterios de estabilidad.
- Tabla con los parámetros de resistencia longitudinal: momentos flectores y esfuerzos cortantes máximos.
- Curvas de estabilidad.
- Curvas de distribución de peso, de empujes, de esfuerzos cortantes y de momentos flectores (todas ellas en los mismos ejes)

Seguidamente se presentan todos estos datos en las distintas condiciones de carga

En el cálculo de las situaciones de carga se van a considerar los tanques de carga llenos al 95% así como el tanque de consumos que mayor corrección por superficie libre produzca, con objeto hacer en cada caso la corrección por superficie libre exigida por el reglamento (MARPOL)

Para el resto de tanques que contengan hidrocarburos (combustible y aceites lubricantes), como se indicó en el cuaderno 4 (punto 5) solo admiten un grado de llenado máximo del 98%, que es el considerado cuando estos se encuentran al máximo de su capacidad.



6.1 SC-0001 Buque a plena carga – condición de salida

Tabla estado de tanques y otras cargas

SC-0001 PLENA CARGA SALIDA			
TANQUES			
TANQUE	GRADO LLENADO	TANQUE	GRADO LLENADO
Carga 1 Babor	95 %	HFO Almacen B. (4,5% S)	95 %
Carga 1 Estribor	95 %	HFO Almacen E. (4,5% S)	98 %
Carga 2 Babor	95 %	HFO Almacen (1,5% S)	98 %
Carga 2 Estribor	95 %	HFO Almacen (0,1% S)	98 %
Carga 3 Babor	95 %	HFO S. Diario B. M.P: y AA.	98 %
Carga 3 Estribor	95 %	HFO S. Diario E. M.P: y AA.	98 %
Carga 4 Babor	95 %	HFO S. Diario Calderas	98 %
Carga 4 Estribor	95 %	HFO Sedimentación	98 %
Carga 5 Babor	95 %	HFO Reboses y derrames	0 %
Carga 5 Estribor	95 %	MDO Almacen	98 %
Carga 6 Babor	95 %	MDO Servicio Diario	98 %
Carga 6 Estribor	95 %	MDO Auxiliar	98 %
Slop Babor	95 %	Aceite L. Camisas M.P. Almacen 1	98 %
Slop Estribor	95 %	Aceite L. Camisas M.P. Almacen 2	98 %
Lastre pique de proa	0 %	Aceite L. Camisas M.P. Servicio	98 %
Lastre 1 Babor	0 %	Aceite L. Cáster M.P. Servicio	98 %
Lastre 1 Estribor	0 %	Aceite L. Cáster M.P. Aux 1	98 %
Lastre 2 Babor	0 %	Aceite L. Cáster M.P. Aux 2	0 %
Lastre 2 Estribor	0 %	Aceite L. Motores Auxiliares	98 %
Lastre 3 Babor	0 %	Agua potable 1	98 %
Lastre 3 Estribor	0 %	Agua potable 2	98 %
Lastre 4 Babor	0 %	Agua técnica 1	98 %
Lastre 4 Estribor	0 %	Agua técnica 2	98 %
Lastre 5 Babor	0 %	Aguas grises	98 %
Lastre 5 Estribor	0 %	Aguas negras	98 %
Lastre 6 Babor	0 %	Sentinas	0 %
Lastre 6 Estribor	0 %	Lodos	0 %
Lastre pique de popa	0 %		

OTRAS GARGAS		
CARGA	PORCENTAJE	PESO (t)
Tripulación y efectos	100%	5,6
Viveres	100%	18,0
Pertrechos	100%	100,0



Tabla características hidrostáticas en la flotación de equilibrio

Característica hidrostática	Valor
Peso Muerto	146.070,8 t
Desplazamiento	173.480,8 t
Posición longitudinal c.g. buque	137,742 m
Altura c.g. buque	13,561 m
Calado perpendicular de popa	16,954 m
Calado perpendicular de proa	16,428 m
Calado medio	16,691 m
Calado en la hélice	16,943 m
Asiento	0,526 m (popa)
Momento para cambiar el trimado 1 cm	2.133,0 t m
Posición longitudinal c. de carena	137,729 m
Altura centro de carena	8,637 m
Centro de flotación	128,110 m
Altura metacéntrica "GM"	6,065 m
Altura metacéntrica corregida "GM _c "	4,631 m
Metacentro transversal "KM"	19,626 m
Máximo brazo adrizante "GZ _{max} "	2,614 m
Ángulo del máximo brazo adriante	37,0°

Criterios de calado y asiento

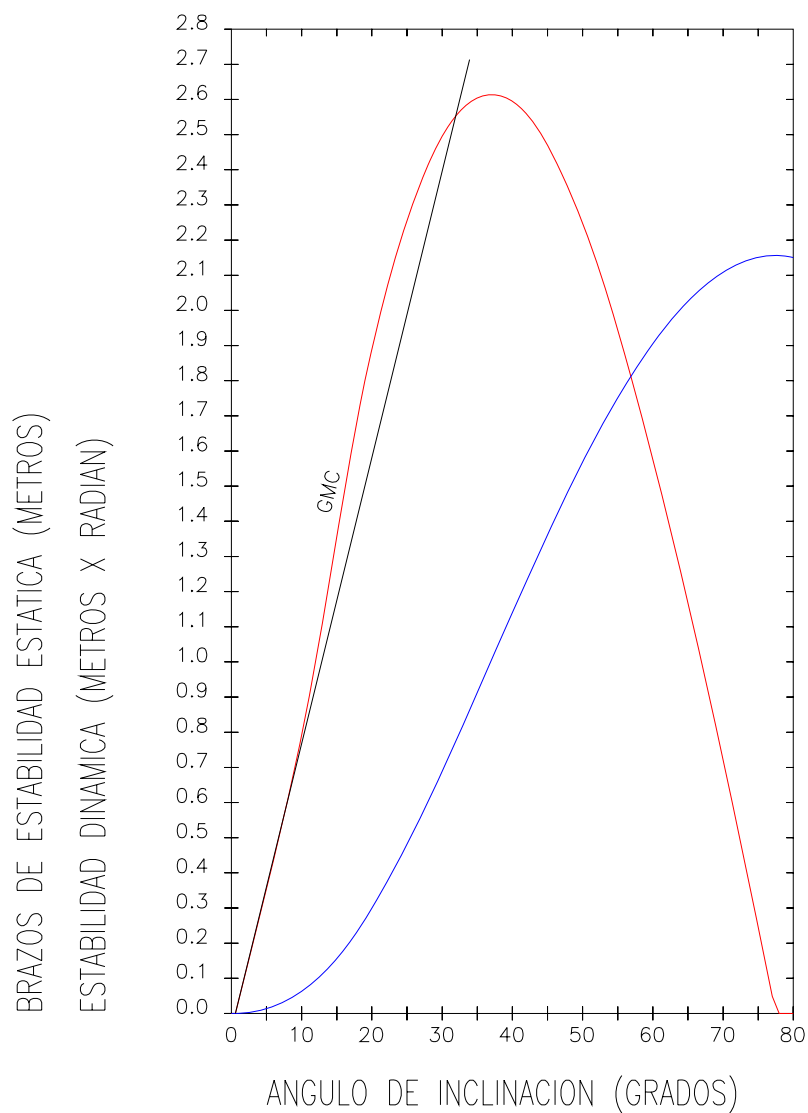
Requisitos	Valor límite	Valor real	Cumple
Trimado por popa	3,000 m	0,526 m	OK
Calado en la hélice	9,260 m	16,943 m	OK

Criterios de estabilidad

Requisitos MARPOL	Valor límite	Valor real	Cumple
Máximo brazo adrizante	25,0°	37,0°	OK
Máximo GZ entre 30° y 80°	0,200 m	2,614 m	OK
Estabilidad dinámica entre 0° y 30°	55 mm rad	688,9 mm rad	OK
Estabilidad dinámica entre 0° y 40°	90 mm rad	1.140,0 mm rad	OK
Estabilidad dinámica entre 30° y 40°	90 mm rad	451,1 mm rad	OK
Altura metacéntrica corregida a 0°	0,15 m	4,631 m	OK



Curva de estabilidad

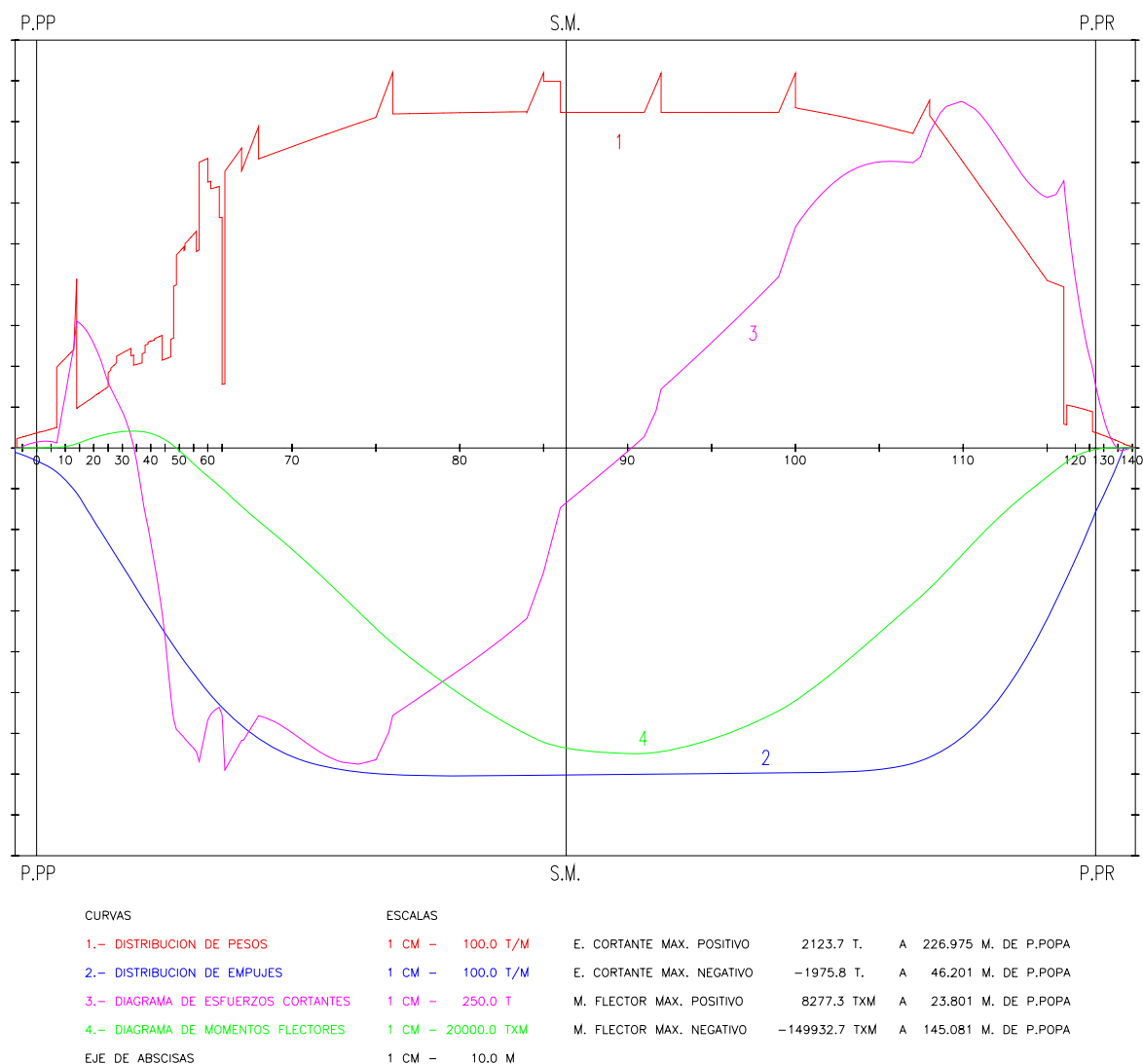


Situación de carga "0001"	SALIDA PLENA CARGA
DESPLAZAMIENTO	= 173480.8 TONELADAS
ANGULO DE GZ MAXIMO	= 37.0 GRADOS
GZ MAXIMO	= 2.614 METROS
ALTURA METACENTRICA CORREGIDA	= 4.631 METROS



Ángulo de escora	KN (m)	GZ (m)	Area bajo la curva (mm rad)
0°	-0,00	0,000	-0,047
10°	10,00	3,430	0,791
20°	20,00	6,882	1,891
30°	30,00	9,647	2,495
40°	40,00	11,681	2,595
50°	50,00	12,989	2,248
60°	60,00	13,651	1,577
70°	70,00	13,780	0,721
80°	80,00	13,471	-0,259

Curvas resistencia longitudinal





Resistencia longitudinal

Parámetro	Valor	Cuaderna	Abscisa (m)
Esfuerzo cortante máximo positivo	2.123,72 t	110	226,974
Esfuerzo cortante máximo negativo	-1.975,79 t	66	46,200
Momento flector máximo positivo	8.277,31 t m	34	23,800
Momento flector máximo negativo	-149.932,73 t m	90	145,080

Los valores positivos son en quebranto y los negativos en arrufo.



6.2 SC-0002 Buque a plena carga – condición de llegada

Tabla estado de tanques y otras cargas

SC-0002 PLENA CARGA LLEGADA			
TANQUES			
TANQUE	GRADO LLENADO	TANQUE	GRADO LLENADO
Carga 1 Babor	95 %	HFO Almacen B. (4,5% S)	0 %
Carga 1 Estribor	95 %	HFO Almacen E. (4,5% S)	0 %
Carga 2 Babor	95 %	HFO Almacen (1,5% S)	0 %
Carga 2 Estribor	95 %	HFO Almacen (0,1% S)	0 %
Carga 3 Babor	95 %	HFO S. Diario B. M.P: y AA.	98 %
Carga 3 Estribor	95 %	HFO S. Diario E. M.P: y AA.	98 %
Carga 4 Babor	95 %	HFO S. Diario Calderas	98 %
Carga 4 Estribor	95 %	HFO Sedimentación	98 %
Carga 5 Babor	95 %	HFO Reboses y derrames	0 %
Carga 5 Estribor	95 %	MDO Almacen	95 %
Carga 6 Babor	95 %	MDO Servicio Diario	98 %
Carga 6 Estribor	95 %	MDO Auxiliar	98 %
Slop Babor	95 %	Aceite L. Camisas M.P. Almacen 1	98 %
Slop Estribor	95 %	Aceite L. Camisas M.P. Almacen 2	98 %
Lastre pique de proa	0 %	Aceite L. Camisas M.P. Servicio	98 %
Lastre 1 Babor	0 %	Aceite L. Cáster M.P. Servicio	98 %
Lastre 1 Estribor	0 %	Aceite L. Cáster M.P. Aux 1	98 %
Lastre 2 Babor	0 %	Aceite L. Cáster M.P. Aux 2	0 %
Lastre 2 Estribor	0 %	Aceite L. Motores Auxiliares	98 %
Lastre 3 Babor	0 %	Agua potable 1	98 %
Lastre 3 Estribor	0 %	Agua potable 2	98 %
Lastre 4 Babor	0 %	Agua técnica 1	98 %
Lastre 4 Estribor	0 %	Agua técnica 2	98 %
Lastre 5 Babor	0 %	Aguas grises	0 %
Lastre 5 Estribor	0 %	Aguas negras	0 %
Lastre 6 Babor	25 %	Sentinas	98 %
Lastre 6 Estribor	25 %	Lodos	98 %
Lastre pique de popa	98 %		

OTRAS GARGAS		
CARGA	PORCENTAJE	PESO (t)
Tripulación y efectos	100%	5,6
Viveres	10%	1,8
Pertrechos	100%	100,0



Tabla características hidrostáticas en la flotación de equilibrio

Característica hidrostática	Valor
Peso Muerto	146.600,3 t
Desplazamiento	174.010,3 t
Posición longitudinal c.g. buque	137,720 m
Altura c.g. buque	13,312 m
Calado perpendicular de popa	16,998 m
Calado perpendicular de proa	16,477 m
Calado medio	16,737 m
Calado en la hélice	16,987 m
Asiento	0,521 m (popa)
Momento para cambiar el trimado 1 cm	2.135,5 t m
Posición longitudinal c. de carena	137,707 m
Altura centro de carena	8,661 m
Centro de flotación	128,059 m
Altura metacéntrica "GM"	6,309 m
Altura metacéntrica corregida "GM _c "	4,559 m
Metacentro transversal "KM"	19,621 m
Máximo brazo adrizante "GZ _{max} "	2,710 m
Ángulo del máximo brazo adriante	37,6°

Criterios de calado y asiento

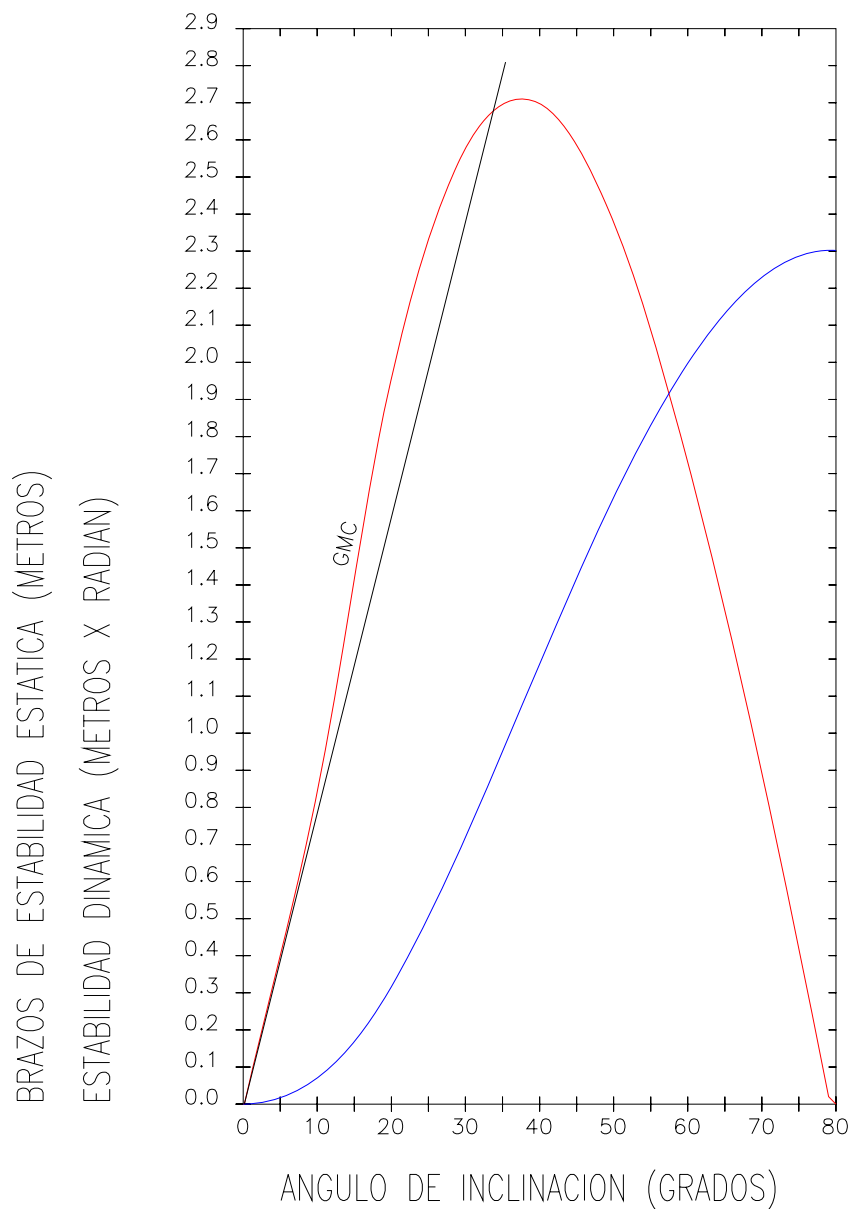
Requisito	Valor límite	Valor real	Cumple
Trimado por popa	3,000 m	0,521 m	OK
Calado en la hélice	9,260 m	16,987 m	OK

Criterios de estabilidad

Requisitos MARPOL	Valor límite	Valor real	Cumple
Máximo brazo adrizante	25,0°	37,6°	OK
Máximo GZ entre 30° y 80°	0,200 m	2,710 m	OK
Estabilidad dinámica entre 0° y 30°	55 mm rad	719,6 mm rad	OK
Estabilidad dinámica entre 0° y 40°	90 mm rad	1.186,7 mm rad	OK
Estabilidad dinámica entre 30° y 40°	90 mm rad	467,1 mm rad	OK
Altura metacéntrica corregida a 0°	0,15 m	4,559 m	OK



Curva de estabilidad

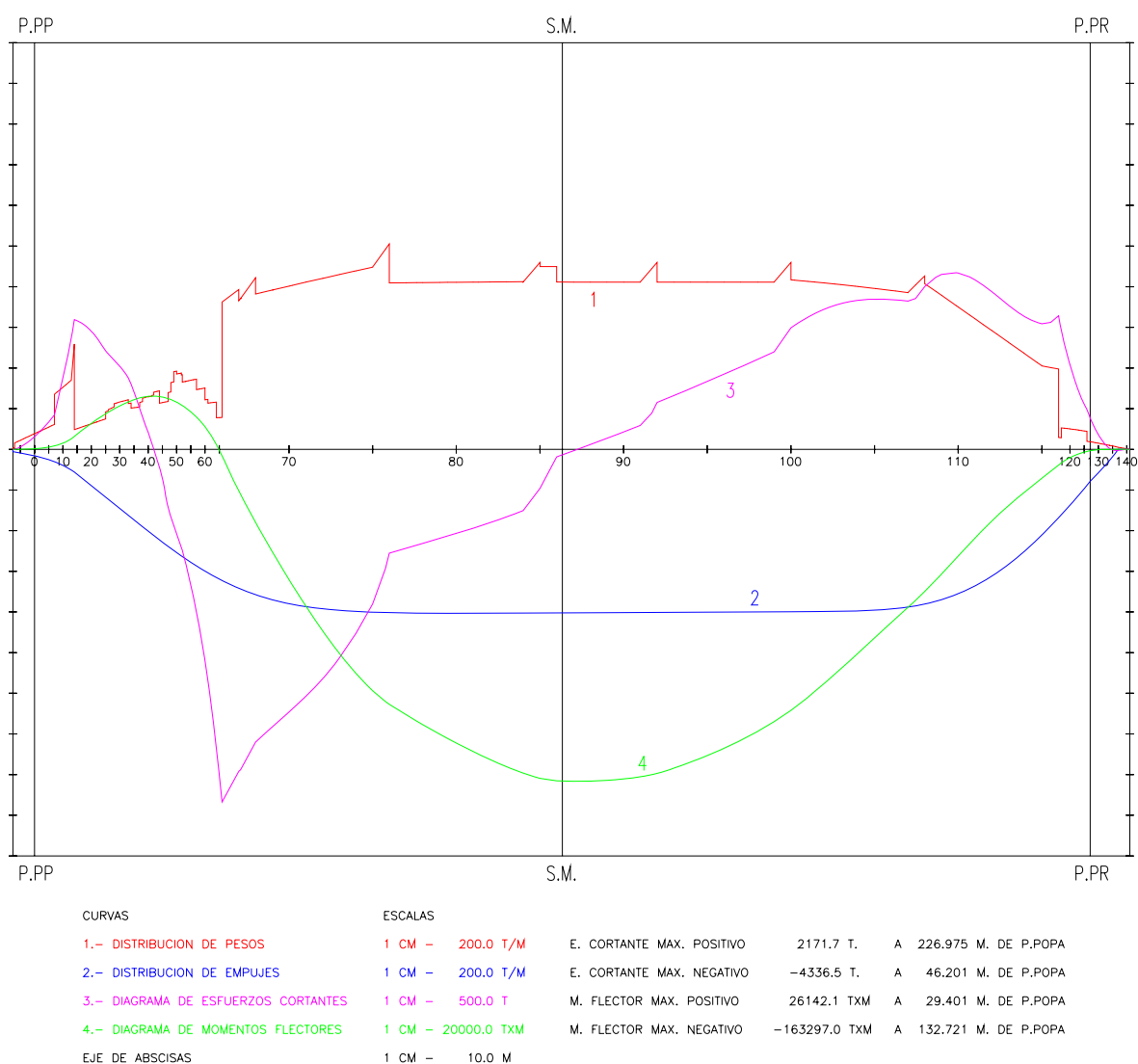


Situación de carga "0002"	PLENA CARGA LLEGADA
DESPLAZAMIENTO	= 174010.3 TONELADAS
ANGULO DE GZ MAXIMO	= 37.6 GRADOS
GZ MAXIMO	= 2.710 METROS
ALTURA METACENTRICA CORREGIDA	= 4.559 METROS



Ángulo de escora	KN (m)	GZ (m)	Area bajo la curva (mm rad)
0°	0,000	-0,014	0,00
10°	3,430	0,841	70,61
20°	6,877	1,958	316,63
30°	9,629	2,577	719,64
40°	11,656	2,698	1186,73
50°	12,968	2,378	1635,25
60°	13,635	1,732	1997,67
70°	13,768	0,892	2228,98
80°	13,464	-0,084	2301,45

Curvas resistencia longitudinal





Resistencia longitudinal

Parámetro	Valor	Cuaderna	Abscisa (m)
Esfuerzo cortante máximo positivo	2.171,71 t	110	226,974
Esfuerzo cortante máximo negativo	-4.336,50 t	66	46,200
Momento flector máximo positivo	26.142,14 t m	42	29,400
Momento flector máximo negativo	-163.297,00 t m	87	132,720

Los valores positivos son en quebranto y los negativos en arrufo.



6.3 SC-0003 Buque en lastre- condición de salida

Tabla estado de tanques y otras cargas

SC-0003 LASTRE SALIDA			
TANQUES			
TANQUE	GRADO LLENADO	TANQUE	GRADO LLENADO
Carga 1 Babor	0 %	HFO Almacen B. (4,5% S)	95 %
Carga 1 Estribor	0 %	HFO Almacen E. (4,5% S)	98 %
Carga 2 Babor	0 %	HFO Almacen (1,5% S)	98 %
Carga 2 Estribor	0 %	HFO Almacen (0,1% S)	98 %
Carga 3 Babor	0 %	HFO S. Diario B. M.P: y AA.	98 %
Carga 3 Estribor	0 %	HFO S. Diario E. M.P: y AA.	98 %
Carga 4 Babor	0 %	HFO S. Diario Calderas	98 %
Carga 4 Estribor	0 %	HFO Sedimentación	98 %
Carga 5 Babor	0 %	HFO Reboses y derrames	0 %
Carga 5 Estribor	0 %	MDO Almacen	98 %
Carga 6 Babor	0 %	MDO Servicio Diario	98 %
Carga 6 Estribor	0 %	MDO Auxiliar	98 %
Slop Babor	0 %	Aceite L. Camisas M.P. Almacen 1	98 %
Slop Estribor	0 %	Aceite L. Camisas M.P. Almacen 2	98 %
Lastre pique de proa	98 %	Aceite L. Camisas M.P. Servicio	98 %
Lastre 1 Babor	98 %	Aceite L. Cáster M.P. Servicio	98 %
Lastre 1 Estribor	98 %	Aceite L. Cáster M.P. Aux 1	98 %
Lastre 2 Babor	98 %	Aceite L. Cáster M.P. Aux 2	0 %
Lastre 2 Estribor	98 %	Aceite L. Motores Auxiliares	98 %
Lastre 3 Babor	98 %	Agua potable 1	98 %
Lastre 3 Estribor	98 %	Agua potable 2	98 %
Lastre 4 Babor	98 %	Agua técnica 1	98 %
Lastre 4 Estribor	98 %	Agua técnica 2	98 %
Lastre 5 Babor	98 %	Aguas grises	98 %
Lastre 5 Estribor	98 %	Aguas negras	98 %
Lastre 6 Babor	60 %	Sentinas	0 %
Lastre 6 Estribor	60 %	Lodos	0 %
Lastre pique de popa	0 %		

OTRAS GARGAS		
CARGA	PORCENTAJE	PESO (t)
Tripulación y efectos	100%	5,6
Viveres	100%	18,0
Pertrechos	100%	100,0



Tabla características hidrostáticas en la flotación de equilibrio

Característica hidrostática	Valor
Peso Muerto	53.800,6 t
Desplazamiento	81.210,6 t
Posición longitudinal c.g. buque	136,552 m
Altura c.g. buque	10,016 m
Calado perpendicular de popa	9,677 m
Calado perpendicular de proa	6,954 m
Calado medio	8,316 m
Calado en la hélice	9,620 m
Asiento	2,723 m (popa)
Momento para cambiar el trimado 1 cm	1.667,5 t m
Posición longitudinal c. de carena	136,492 m
Altura centro de carena	4,252 m
Centro de flotación	139,838 m
Altura metacéntrica	15,416 m
Altura metacéntrica corregida "GM _c "	15,361 m
Metacentro transversal "KM"	25,432 m
Máximo brazo adrizante "GZ _{max} "	8,443 m
Ángulo del máximo brazo adriante	44,6°

Criterios de calado y asiento

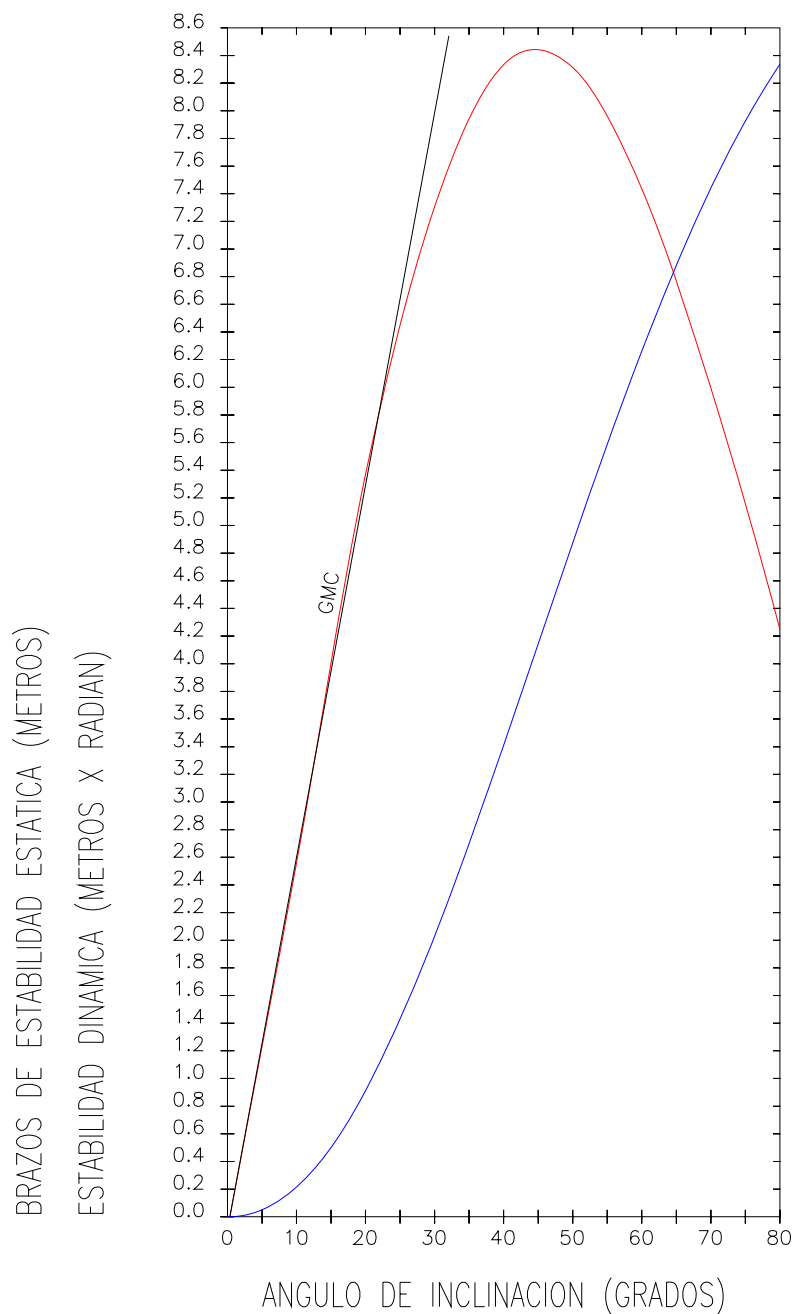
Requisitos	Valor límite	Valor real	Cumple
Trimado por popa	3,000 m	2,744 m	OK
Calado en la hélice	9,260 m	9,620 m	OK

Criterios de estabilidad

Requisitos MARPOL	Valor límite	Valor real	Cumple
Máximo brazo adrizante	25,0°	44,6°	OK
Máximo GZ entre 30° y 80°	0,200 m	8,443 m	OK
Estabilidad dinámica entre 0° y 30°	55 mm rad	2.030,7 mm rad	OK
Estabilidad dinámica entre 0° y 40°	90 mm rad	3.409,7 mm rad	OK
Estabilidad dinámica entre 30° y 40°	90 mm rad	1.379,0 mm rad	OK
Altura metacéntrica corregida a 0°	0,15 m	15,361 m	OK



Curva de estabilidad

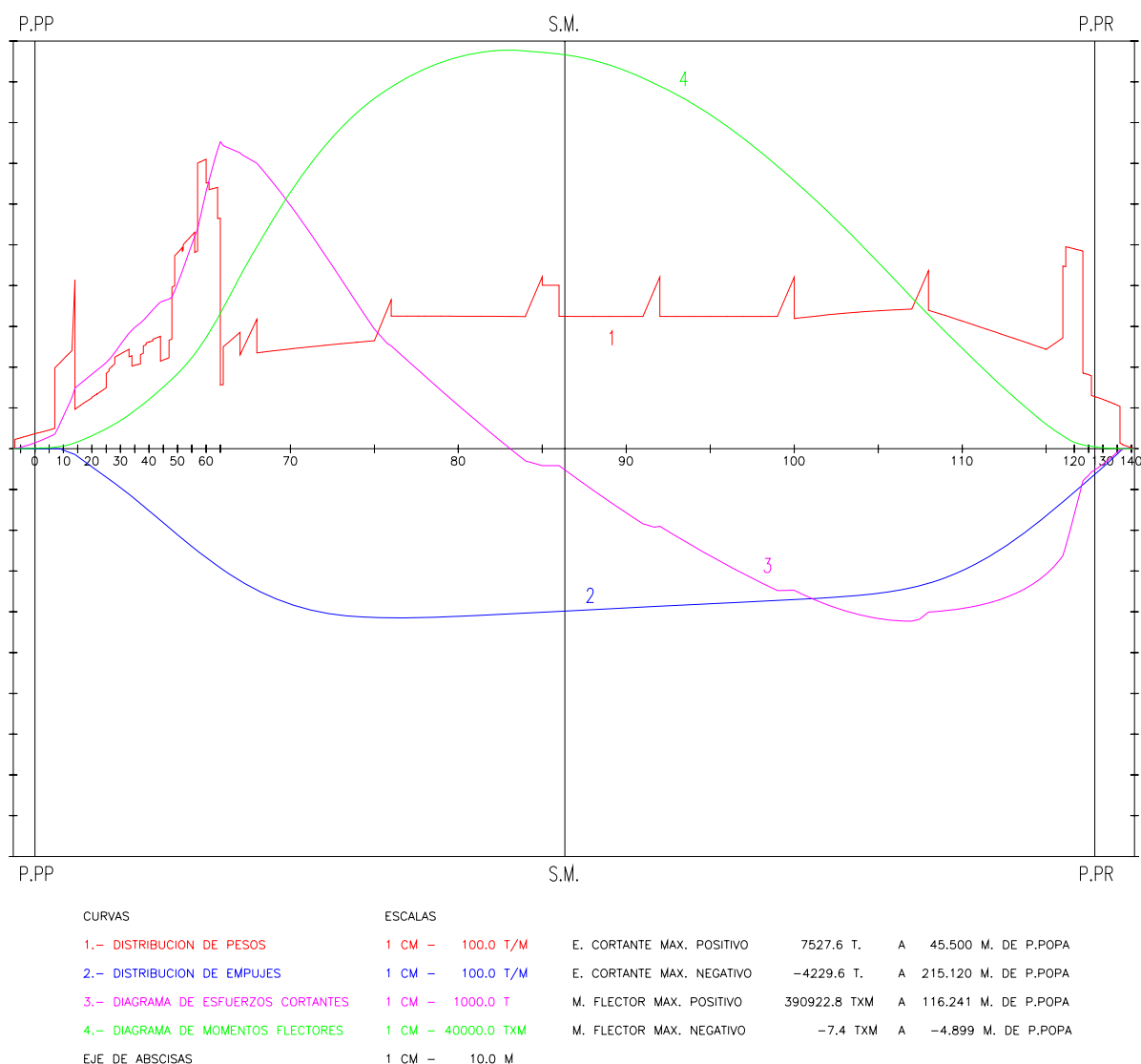


Situación de carga "0003"	LASTRE SALIDA
DESPLAZAMIENTO	= 81210.6 TONELADAS
ANGULO DE GZ MAXIMO	= 44.6 GRADOS
GZ MAXIMO	= 8.443 METROS
ALTURA METACENTRICA CORREGIDA	= 15.361 METROS



Ángulo de escora	KN (m)	GZ (m)	Area bajo la curva (mm rad)
0°	0,000	-0,100	0,00
10°	4,453	2,558	214,70
20°	8,999	5,369	911,65
30°	12,608	7,306	2030,71
40°	15,127	8,334	3409,70
50°	16,385	8,313	4876,21
60°	16,549	7,436	6260,89
70°	15,895	5,993	7439,11
80°	14,608	4,248	8337,22

Curvas resistencia longitudinal





Resistencia longitudinal

Parámetro	Valor	Cuaderna	Abscisa (m)
Esfuerzo cortante máximo positivo	7.527,56 t	65	45,500
Esfuerzo cortante máximo negativo	-4.229,60 t	107	215,120
Momento flector máximo positivo	390.922,84 t m	83	116,240
Momento flector máximo negativo	-7,43 t m	-7	-4,900

Los valores positivos son en quebranto y los negativos en arrufo.



6.4 SC-0004 Buque en lastre – condición de llegada

Tabla estado de tanques y otras cargas

SC-0004 LASTRE LLEGADA			
TANQUES			
TANQUE	GRADO LLENADO	TANQUE	GRADO LLENADO
Carga 1 Babor	0 %	HFO Almacen B. (4,5% S)	0 %
Carga 1 Estribor	0 %	HFO Almacen E. (4,5% S)	0 %
Carga 2 Babor	0 %	HFO Almacen (1,5% S)	0 %
Carga 2 Estribor	0 %	HFO Almacen (0,1% S)	0 %
Carga 3 Babor	0 %	HFO S. Diario B. M.P: y AA.	98 %
Carga 3 Estribor	0 %	HFO S. Diario E. M.P: y AA.	98 %
Carga 4 Babor	0 %	HFO S. Diario Calderas	98 %
Carga 4 Estribor	0 %	HFO Sedimentación	98 %
Carga 5 Babor	0 %	HFO Reboses y derrames	0 %
Carga 5 Estribor	0 %	MDO Almacen	95 %
Carga 6 Babor	0 %	MDO Servicio Diario	98 %
Carga 6 Estribor	0 %	MDO Auxiliar	98 %
Slop Babor	0 %	Aceite L. Camisas M.P. Almacen 1	98 %
Slop Estribor	0 %	Aceite L. Camisas M.P. Almacen 2	98 %
Lastre pique de proa	98 %	Aceite L. Camisas M.P. Servicio	98 %
Lastre 1 Babor	98 %	Aceite L. Cáster M.P. Servicio	98 %
Lastre 1 Estribor	98 %	Aceite L. Cáster M.P. Aux 1	98 %
Lastre 2 Babor	98 %	Aceite L. Cáster M.P. Aux 2	0 %
Lastre 2 Estribor	98 %	Aceite L. Motores Auxiliares	98 %
Lastre 3 Babor	98 %	Agua potable 1	98 %
Lastre 3 Estribor	98 %	Agua potable 2	98 %
Lastre 4 Babor	98 %	Agua técnica 1	98 %
Lastre 4 Estribor	98 %	Agua técnica 2	98 %
Lastre 5 Babor	98 %	Aguas grises	0 %
Lastre 5 Estribor	98 %	Aguas negras	0 %
Lastre 6 Babor	98 %	Sentinas	98 %
Lastre 6 Estribor	98 %	Lodos	98 %
Lastre pique de popa	0 %		

OTRAS GARGAS		
CARGA	PORCENTAJE	PESO (t)
Tripulación y efectos	100%	5,6
Viveres	10%	1,8
Pertrechos	100%	100,0



Tabla características hidrostáticas en la flotación de equilibrio

Característica hidrostática	Valor
Peso Muerto	54.962,6 t
Desplazamiento	82.418,7 t
Posición longitudinal c.g. buque	136,405 m
Altura c.g. buque	9,989 m
Calado perpendicular de popa	9,836 m
Calado perpendicular de proa	7,023 m
Calado medio	8,430 m
Calado en la hélice	9,778 m
Asiento	2,813 m (popa)
Momento para cambiar el trimado 1 cm	1.672,5 t m
Posición longitudinal c. de carena	136,356 m
Altura centro de carena	4,310 m
Centro de flotación	139,733 m
Altura metacéntrica "GM"	15,232 m
Altura metacéntrica corregida "GM _c "	15,227 m
Metacentro transversal "KM"	25,221 m
Máximo brazo adrizante "GZ _{max} "	8,726 m
Ángulo del máximo brazo adriante	44,9°

Criterios de calado y asiento

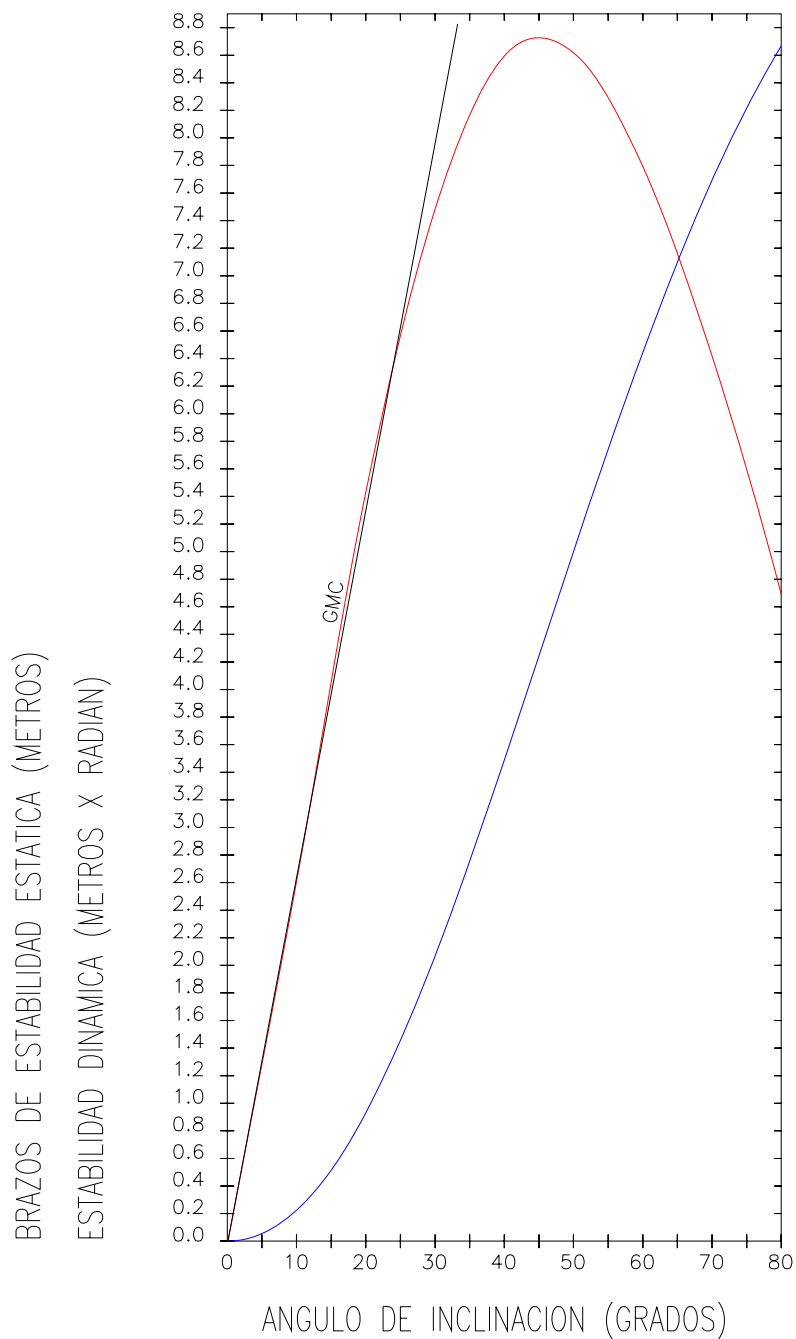
Requisitos	Valor límite	Valor real	Cumple
Trimado por popa	3,000 m	2,813 m	OK
Calado en la hélice	9,260 m	9,778 m	OK

Criterios de estabilidad

Requisitos MARPOL	Valor límite	Valor real	Cumple
Máximo brazo adrizante	25,0°	44,9°	OK
Máximo GZ entre 30° y 80°	0,200 m	8,726 m	OK
Estabilidad dinámica entre 0° y 30°	55 mm rad	2.069,1 mm rad	OK
Estabilidad dinámica entre 0° y 40°	90 mm rad	3.486,8 mm rad	OK
Estabilidad dinámica entre 30° y 40°	90 mm rad	1.417,7 mm rad	OK
Altura metacéntrica corregida a 0°	0,15 m	15,227 m	OK



Curva de estabilidad

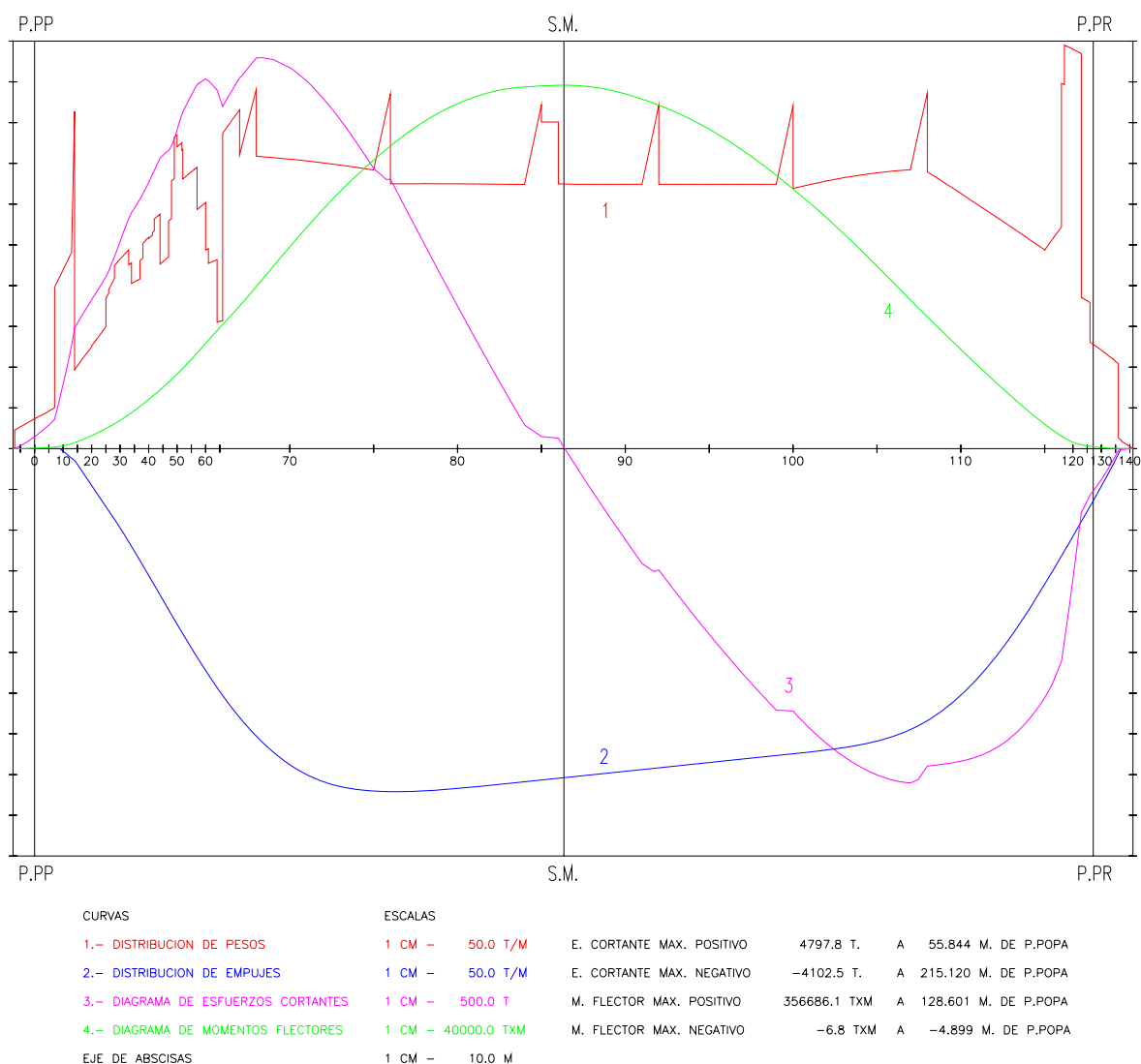


Situación de carga "0004"	LASTRE LLEGADA
DESPLAZAMIENTO	= 82372.7 TONELADAS
ANGULO DE GZ MAXIMO	= 44.9 GRADOS
GZ MAXIMO	= 8.726 METROS
ALTURA METACENTRICA CORREGIDA	= 15.227 METROS



Ángulo de escora	KN (m)	GZ (m)	Area bajo la curva (mm rad)
0°	0,000	-0,028	0,00
10°	4,417	2,606	224,05
20°	8,937	5,431	929,62
30°	12,570	7,484	2069,09
40°	15,104	8,594	3486,82
50°	16,353	8,618	5002,83
60°	16,519	7,793	6445,05
70°	15,873	6,419	7691,79
80°	14,595	4,691	8666,46

Curvas resistencia longitudinal





Resistencia longitudinal

Parámetro	Valor	Cuaderna	Abscisa (m)
Esfuerzo cortante máximo positivo	4.797,78 t	68	55,843
Esfuerzo cortante máximo negativo	-4.102,47 t	107	215,120
Momento flector máximo positivo	356.686,10 t m	86	128,600
Momento flector máximo negativo	-6,79 t m	-7	-4,900

Los valores positivos son en quebranto y los negativos en arrufo.



6.5 SC-0005 Condición de lastre IMO

Tabla estado de tanques y otras cargas

SC-0005 LASTRE IMO			
TANQUES			
TANQUE	GRADO LLENADO	TANQUE	GRADO LLENADO
Carga 1 Babor	0 %	HFO Almacen B. (4,5% S)	0 %
Carga 1 Estribor	0 %	HFO Almacen E. (4,5% S)	0 %
Carga 2 Babor	0 %	HFO Almacen (1,5% S)	0 %
Carga 2 Estribor	0 %	HFO Almacen (0,1% S)	0 %
Carga 3 Babor	0 %	HFO S. Diario B. M.P: y AA.	0 %
Carga 3 Estribor	0 %	HFO S. Diario E. M.P: y AA.	0 %
Carga 4 Babor	0 %	HFO S. Diario Calderas	0 %
Carga 4 Estribor	0 %	HFO Sedimentación	0 %
Carga 5 Babor	0 %	HFO Reboses y derrames	0 %
Carga 5 Estribor	0 %	MDO Almacen	0 %
Carga 6 Babor	0 %	MDO Servicio Diario	0 %
Carga 6 Estribor	0 %	MDO Auxiliar	0 %
Slop Babor	0 %	Aceite L. Camisas M.P. Almacen 1	0 %
Slop Estribor	0 %	Aceite L. Camisas M.P. Almacen 2	0 %
Lastre pique de proa	100 %	Aceite L. Camisas M.P. Servicio	0 %
Lastre 1 Babor	100 %	Aceite L. Cáster M.P. Servicio	0 %
Lastre 1 Estribor	100 %	Aceite L. Cáster M.P. Aux 1	0 %
Lastre 2 Babor	100 %	Aceite L. Cáster M.P. Aux 2	0 %
Lastre 2 Estribor	100 %	Aceite L. Motores Auxiliares	0 %
Lastre 3 Babor	100 %	Agua potable 1	0 %
Lastre 3 Estribor	100 %	Agua potable 2	0 %
Lastre 4 Babor	100 %	Agua técnica 1	0 %
Lastre 4 Estribor	100 %	Agua técnica 2	0 %
Lastre 5 Babor	100 %	Aguas grises	0 %
Lastre 5 Estribor	100 %	Aguas negras	0 %
Lastre 6 Babor	100 %	Sentinas	0 %
Lastre 6 Estribor	100 %	Lodos	0 %
Lastre pique de popa	100 %		

OTRAS GARGAS		
CARGA	PORCENTAJE	PESO (t)
Tripulación y efectos	0%	0,0
Viveres	0%	0,0
Pertrechos	0%	0,0



Tabla características hidrostáticas en la flotación de equilibrio

Característica hidrostática	Valor
Peso Muerto	54.748,9 t
Desplazamiento	82.158,9 t
Posición longitudinal c.g. buque	138,268 m
Altura c.g. buque	10,008 m
Calado perpendicular de popa	9,317 m
Calado perpendicular de proa	7,431 m
Calado medio	8,374 m
Calado en la hélice	9,278 m
Asiento	1,885 m (popa)
Momento para cambiar el trimado 1 cm	1.660,4 t m
Posición longitudinal c. de carena	138,226 m
Altura centro de carena	4,283 m
Centro de flotación	140,043 m
Altura metacéntrica corregida "GM _C "	15,172 m
Metacentro transversal "KM"	25,179 m
Máximo brazo adrizante "GZ _{max} "	8,787 m
Ángulo del máximo brazo adriante	44,9°

Criterios de calado y asiento

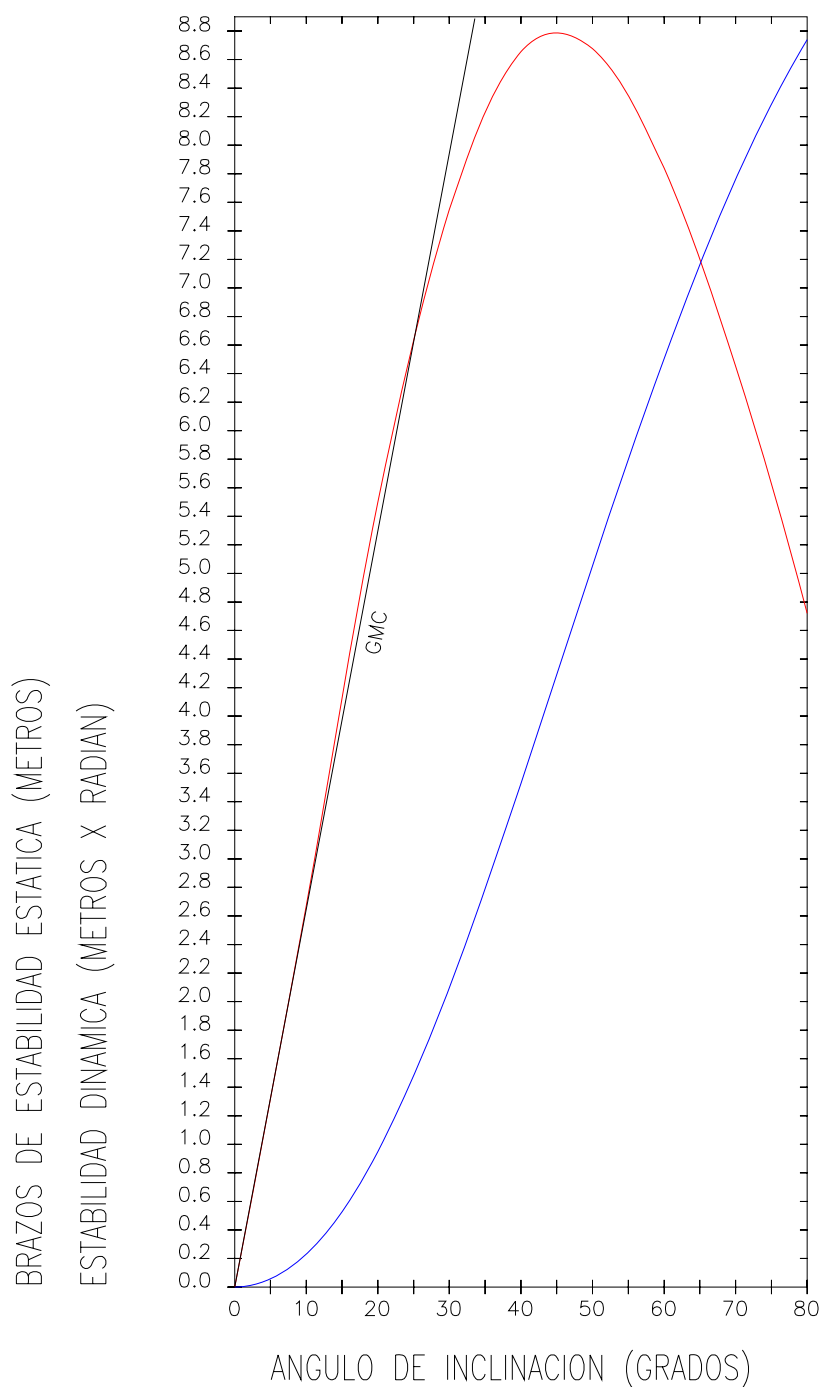
Requisitos MARPOL	Valor límite	Valor real	Cumple
Calado de trazado centro del buque	7,218 m	8,374 m	OK
Trimado por popa	3,914 m	1,885 m	OK
Calado en la hélice	9,260 m	9,278 m	OK

Criterios de estabilidad

Requisitos MARPOL	Valor límite	Valor real	Cumple
Máximo brazo adrizante	25,0°	44,9°	OK
Máximo GZ entre 30° y 80°	0,200 m	8,787 m	OK
Estabilidad dinámica entre 0° y 30°	55 mm rad	2.099,5 mm rad	OK
Estabilidad dinámica entre 0° y 40°	90 mm rad	3.528,1 mm rad	OK
Estabilidad dinámica entre 30° y 40°	90 mm rad	1.428,6 mm rad	OK
Altura metacéntrica corregida a 0°	0,15 m	15,172 m	OK



Curva de estabilidad



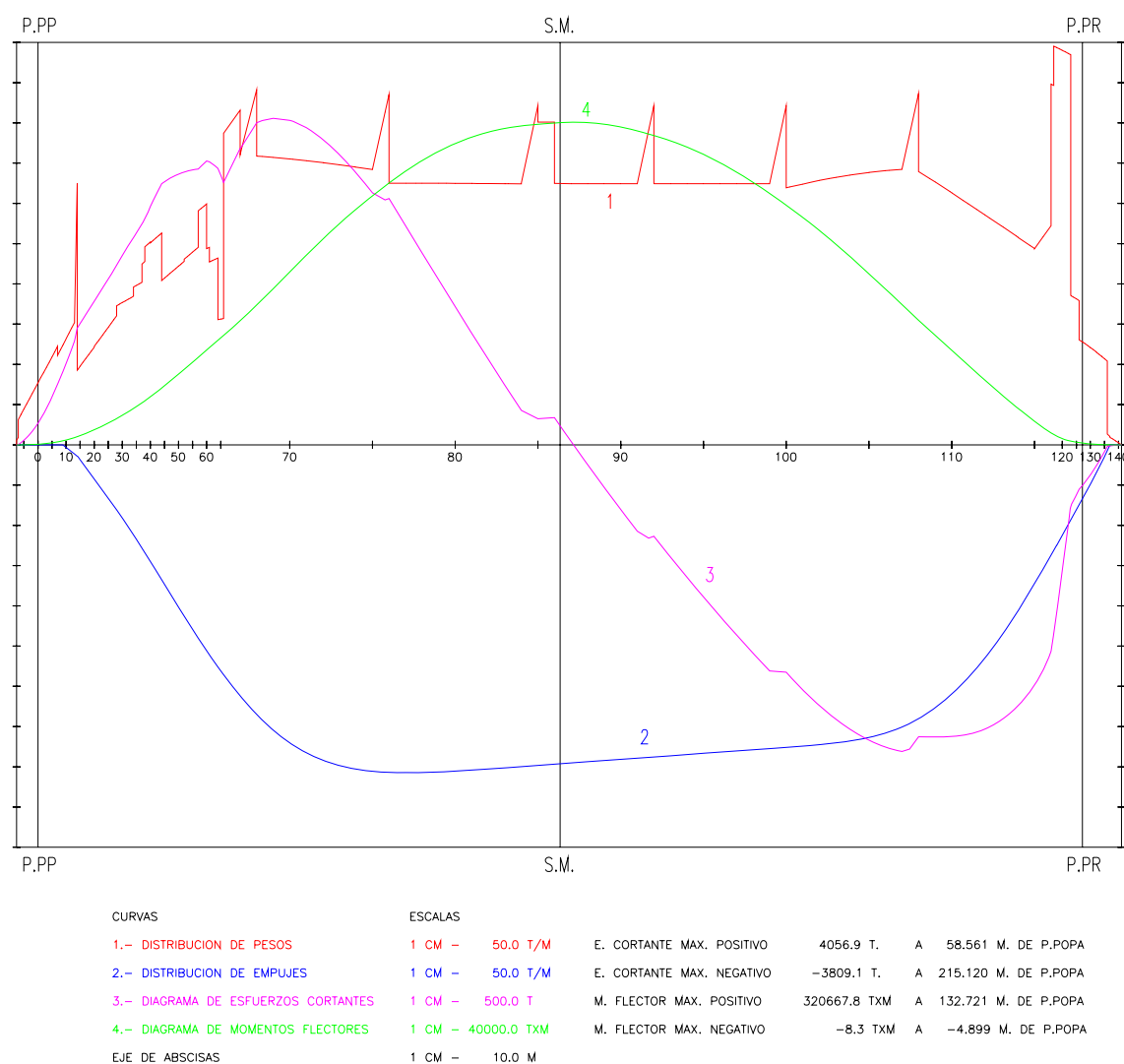
Situación de carga "0005" LASTRE IMO

DESPLAZAMIENTO	=	82158.9 TONELADAS
ANGULO DE GZ MAXIMO	=	44.9 GRADOS
GZ MAXIMO	=	8.787 METROS
ALTURA METACENTRICA CORREGIDA	=	15.172 METROS



Ángulo de escora	KN (m)	GZ (m)	Area bajo la curva (mm rad)
0°	0,000	0,000	0,00
10°	4,410	2,672	230,93
20°	8,922	5,499	948,50
30°	12,551	7,547	2.099,48
40°	15,088	8,655	3.528,12
50°	16,343	8,676	5.054,67
60°	16,507	7,840	6.506,17
70°	15,858	6,452	7.759,87
80°	14,590	4,721	8.739,94

Curvas resistencia longitudinal





Resistencia longitudinal

Parámetro	Valor	Cuaderna	Abscisa (m)
Esfuerzo cortante máximo positivo	4.039,86 t	69	58,560
Esfuerzo cortante máximo negativo	-3.830,72 t	107	215,120
Momento flector máximo positivo	321.721,10 t m	87	132,720
Momento flector máximo negativo	-8,32 t m	-7	-4,900

Los valores positivos son en quebranto y los negativos en arrufo.



6.6 SC-0006 Buque en lastre – condición de salida con mal tiempo

Tabla estado de tanques y otras cargas

SC-0006 LASTRE SALIDA CON MAL TIEMPO			
TANQUES			
TANQUE	GRADO LLENADO	TANQUE	GRADO LLENADO
Carga 1 Babor	0 %	HFO Almacen B. (4,5% S)	95 %
Carga 1 Estribor	0 %	HFO Almacen E. (4,5% S)	98 %
Carga 2 Babor	0 %	HFO Almacen (1,5% S)	98 %
Carga 2 Estribor	0 %	HFO Almacen (0,1% S)	98 %
Carga 3 Babor	95 % las.	HFO S. Diario B. M.P: y AA.	98 %
Carga 3 Estribor	95 % las.	HFO S. Diario E. M.P: y AA.	98 %
Carga 4 Babor	0 %	HFO S. Diario Calderas	98 %
Carga 4 Estribor	0 %	HFO Sedimentación	98 %
Carga 5 Babor	0 %	HFO Reboses y derrames	0 %
Carga 5 Estribor	0 %	MDO Almacen	98 %
Carga 6 Babor	0 %	MDO Servicio Diario	98 %
Carga 6 Estribor	0 %	MDO Auxiliar	98 %
Slop Babor	0 %	Aceite L. Camisas M.P. Almacen 1	98 %
Slop Estribor	0 %	Aceite L. Camisas M.P. Almacen 2	98 %
Lastre pique de proa	50 %	Aceite L. Camisas M.P. Servicio	98 %
Lastre 1 Babor	98 %	Aceite L. Cáster M.P. Servicio	98 %
Lastre 1 Estribor	98 %	Aceite L. Cáster M.P. Aux 1	98 %
Lastre 2 Babor	98 %	Aceite L. Cáster M.P. Aux 2	0 %
Lastre 2 Estribor	98 %	Aceite L. Motores Auxiliares	98 %
Lastre 3 Babor	98 %	Agua potable 1	98 %
Lastre 3 Estribor	98 %	Agua potable 2	98 %
Lastre 4 Babor	98 %	Agua técnica 1	98 %
Lastre 4 Estribor	98 %	Agua técnica 2	98 %
Lastre 5 Babor	98 %	Aguas grises	98 %
Lastre 5 Estribor	98 %	Aguas negras	98 %
Lastre 6 Babor	98 %	Sentinas	0 %
Lastre 6 Estribor	98 %	Lodos	0 %
Lastre pique de popa	98 %		

OTRAS GARGAS		
CARGA	PORCENTAJE	PESO (t)
Tripulación y efectos	100%	5,6
Viveres	100%	18,0
Pertrechos	100%	100,0



Tabla características hidrostáticas en la flotación de equilibrio

Característica hidrostática	Valor
Peso Muerto	86.682,7 t
Desplazamiento	114.092,7 t
Posición longitudinal c.g. buque	139,947 m
Altura c.g. buque	10,930 m
Calado perpendicular de popa	11,789 m
Calado perpendicular de proa	10,918 m
Calado medio	11,354 m
Calado en la hélice	11,771 m
Asiento	0,871 m (popa)
Momento para cambiar el trimado 1 cm	1.783,6 t m
Posición longitudinal c. de carena	139,928 m
Altura centro de carena	5,825 m
Centro de flotación	137,300 m
Altura metacéntrica "GM"	10,396 m
Altura metacéntrica corregida "GM _c "	9,892 m
Metacentro transversal "KM"	21,326 m
Máximo brazo adrizante "GZ _{max} "	6,949 m
Ángulo del máximo brazo adriante	42,7°

Criterios de calado y asiento

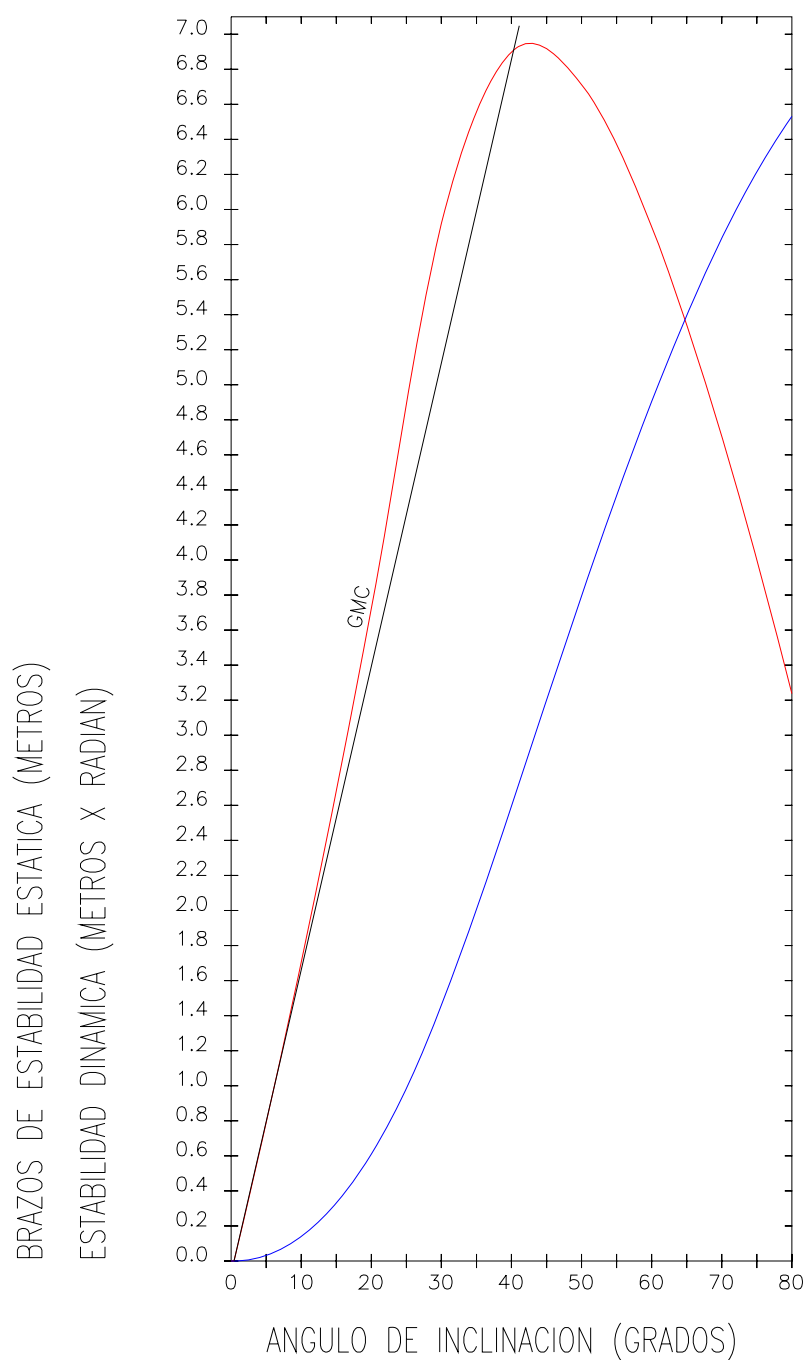
Requisitos	Valor límite	Valor real	Cumple
Trimado por popa	3,000 m	0,871 m	OK
Calado en la hélice	9,260 m	11,771 m	OK

Criterios de estabilidad

Requisitos MARPOL	Valor límite	Valor real	Cumple
Máximo brazo adrizante	25,0°	42,7°	OK
Máximo GZ entre 30° y 80°	0,200 m	6,949 m	OK
Estabilidad dinámica entre 0° y 30°	55 mm rad	1.459,0 mm rad	OK
Estabilidad dinámica entre 0° y 40°	90 mm rad	2.594,7 mm rad	OK
Estabilidad dinámica entre 30° y 40°	90 mm rad	1.135,8 mm rad	OK
Altura metacéntrica corregida a 0°	0,15 m	9,892 m	OK



Curva de estabilidad

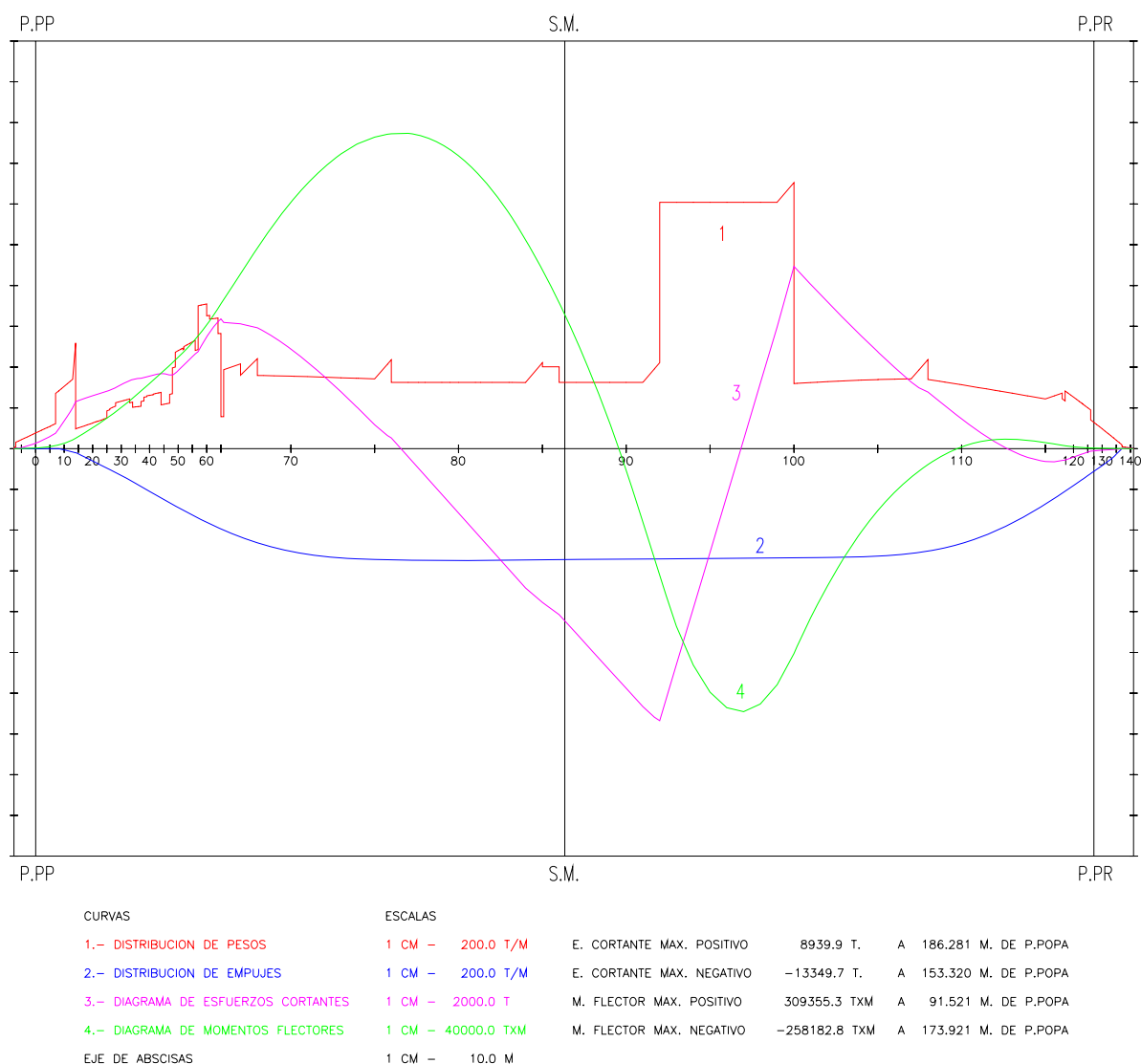


Situación de carga "0006"	LASTRE SALIDA MAL TIEMPO
DESPLAZAMIENTO	= 114092.7 TONELADAS
ANGULO DE GZ MAXIMO	= 42.7 GRADOS
GZ MAXIMO	= 6.949 METROS
ALTURA METACENTRICA CORREGIDA	= 9.892 METROS



Ángulo de escora	KN (m)	GZ (m)	Area bajo la curva (mm rad)
0°	0,000	-0,071	0,00
10°	3,742	1,698	139,98
20°	7,632	3,724	609,95
30°	11,561	5,918	1458,97
40°	14,101	6,898	2594,74
50°	15,259	6,714	3795,64
60°	15,536	5,903	4904,02
70°	15,139	4,704	5834,38
80°	14,209	3,238	6531,27

Curvas resistencia longitudinal





Resistencia longitudinal

Parámetro	Valor	Cuaderna	Abscisa (m)
Esfuerzo cortante máximo positivo	8.939,87 t	100	186,280
Esfuerzo cortante máximo negativo	-13.343,69 t	92	153,320
Momento flector máximo positivo	309.355,31 t m	77	91,520
Momento flector máximo negativo	-258.182,81 t m	97	173,920

Los valores positivos son en quebranto y los negativos en arrufo.



6.7 SC-0007 Buque en lastre – condición de llegada con mal tiempo

Tabla estado de tanques y otras cargas

SC-0007 LASTRE LLEGADA CON MAL TIEMPO			
TANQUES			
TANQUE	GRADO LLENADO	TANQUE	GRADO LLENADO
Carga 1 Babor	0 %	HFO Almacen B. (4,5% S)	0 %
Carga 1 Estribor	0 %	HFO Almacen E. (4,5% S)	0 %
Carga 2 Babor	0 %	HFO Almacen (1,5% S)	0 %
Carga 2 Estribor	0 %	HFO Almacen (0,1% S)	0 %
Carga 3 Babor	95 % las.	HFO S. Diario B. M.P: y AA.	98 %
Carga 3 Estribor	95 % las.	HFO S. Diario E. M.P: y AA.	98 %
Carga 4 Babor	0 %	HFO S. Diario Calderas	98 %
Carga 4 Estribor	0 %	HFO Sedimentación	98 %
Carga 5 Babor	0 %	HFO Reboses y derrames	0 %
Carga 5 Estribor	0 %	MDO Almacen	95 %
Carga 6 Babor	0 %	MDO Servicio Diario	98 %
Carga 6 Estribor	0 %	MDO Auxiliar	98 %
Slop Babor	0 %	Aceite L. Camisas M.P. Almacen 1	98 %
Slop Estribor	0 %	Aceite L. Camisas M.P. Almacen 2	98 %
Lastre pique de proa	0 %	Aceite L. Camisas M.P. Servicio	98 %
Lastre 1 Babor	98 %	Aceite L. Cáster M.P. Servicio	98 %
Lastre 1 Estribor	98 %	Aceite L. Cáster M.P. Aux 1	98 %
Lastre 2 Babor	98 %	Aceite L. Cáster M.P. Aux 2	0 %
Lastre 2 Estribor	98 %	Aceite L. Motores Auxiliares	98 %
Lastre 3 Babor	98 %	Agua potable 1	98 %
Lastre 3 Estribor	98 %	Agua potable 2	98 %
Lastre 4 Babor	98 %	Agua técnica 1	98 %
Lastre 4 Estribor	98 %	Agua técnica 2	98 %
Lastre 5 Babor	98 %	Aguas grises	0 %
Lastre 5 Estribor	98 %	Aguas negras	0 %
Lastre 6 Babor	98 %	Sentinas	98 %
Lastre 6 Estribor	98 %	Lodos	98 %
Lastre pique de popa	98 %		

OTRAS GARGAS		
CARGA	PORCENTAJE	PESO (t)
Tripulación y efectos	100%	5,6
Viveres	10%	1,8
Pertrechos	100%	100,0



Tabla características hidrostáticas en la flotación de equilibrio

Característica hidrostática	Valor
Peso Muerto	82.136,1 t
Desplazamiento	109.546,1 t
Posición longitudinal c.g. buque	141,230 m
Altura c.g. buque	10,842 m
Calado perpendicular de popa	10,964 m
Calado perpendicular de proa	10,847 m
Calado medio	10,906 m
Calado en la hélice	10,961 m
Asiento	0,117 m (popa)
Momento para cambiar el trimado 1 cm	1.735,0 t m
Posición longitudinal c. de carena	141,228 m
Altura centro de carena	5,603 m
Centro de flotación	138,352 m
Altura metacéntrica "GM"	10,754 m
Altura metacéntrica corregida "GM _c "	10,274 m
Metacentro transversal "KM"	21,597 m
Máximo brazo adrizante "GZ _{max} "	7,212 m
Ángulo del máximo brazo adriante	42,9°

Criterios de calado y asiento

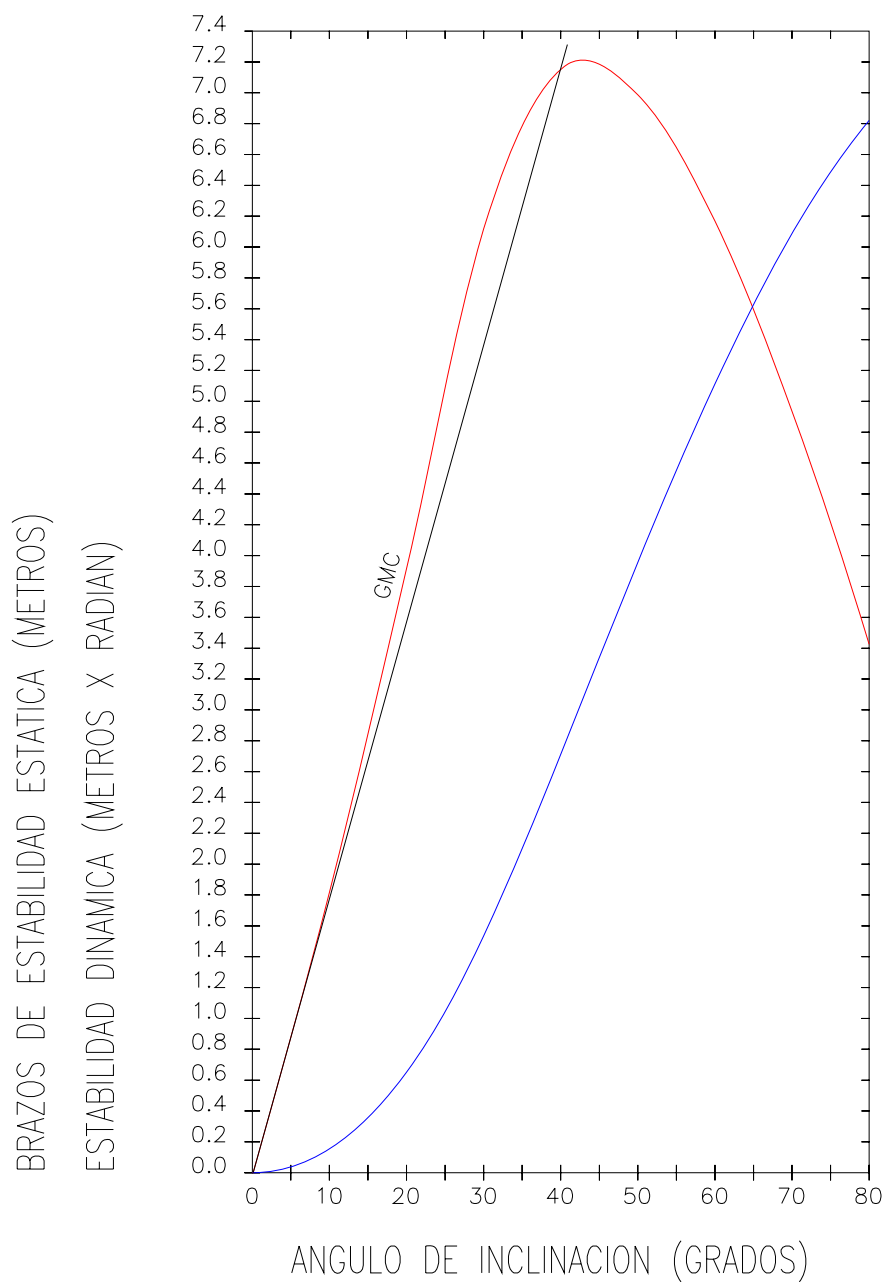
Requisitos	Valor límite	Valor real	Cumple
Trimado por popa	3,000 m	0,045 m	OK
Calado en la hélice	9,260 m	11,961 m	OK

Criterios de estabilidad

Requisitos MARPOL	Valor límite	Valor real	Cumple
Máximo brazo adrizante	25,0°	42,9°	OK
Máximo GZ entre 30° y 80°	0,200 m	7,212 m	OK
Estabilidad dinámica entre 0° y 30°	55 mm rad	1.535,0 mm rad	OK
Estabilidad dinámica entre 0° y 40°	90 mm rad	2.710,3 mm rad	OK
Estabilidad dinámica entre 30° y 40°	90 mm rad	1.175,4 mm rad	OK
Altura metacéntrica corregida a 0°	0,15 m	10,274 m	OK



Curva de estabilidad

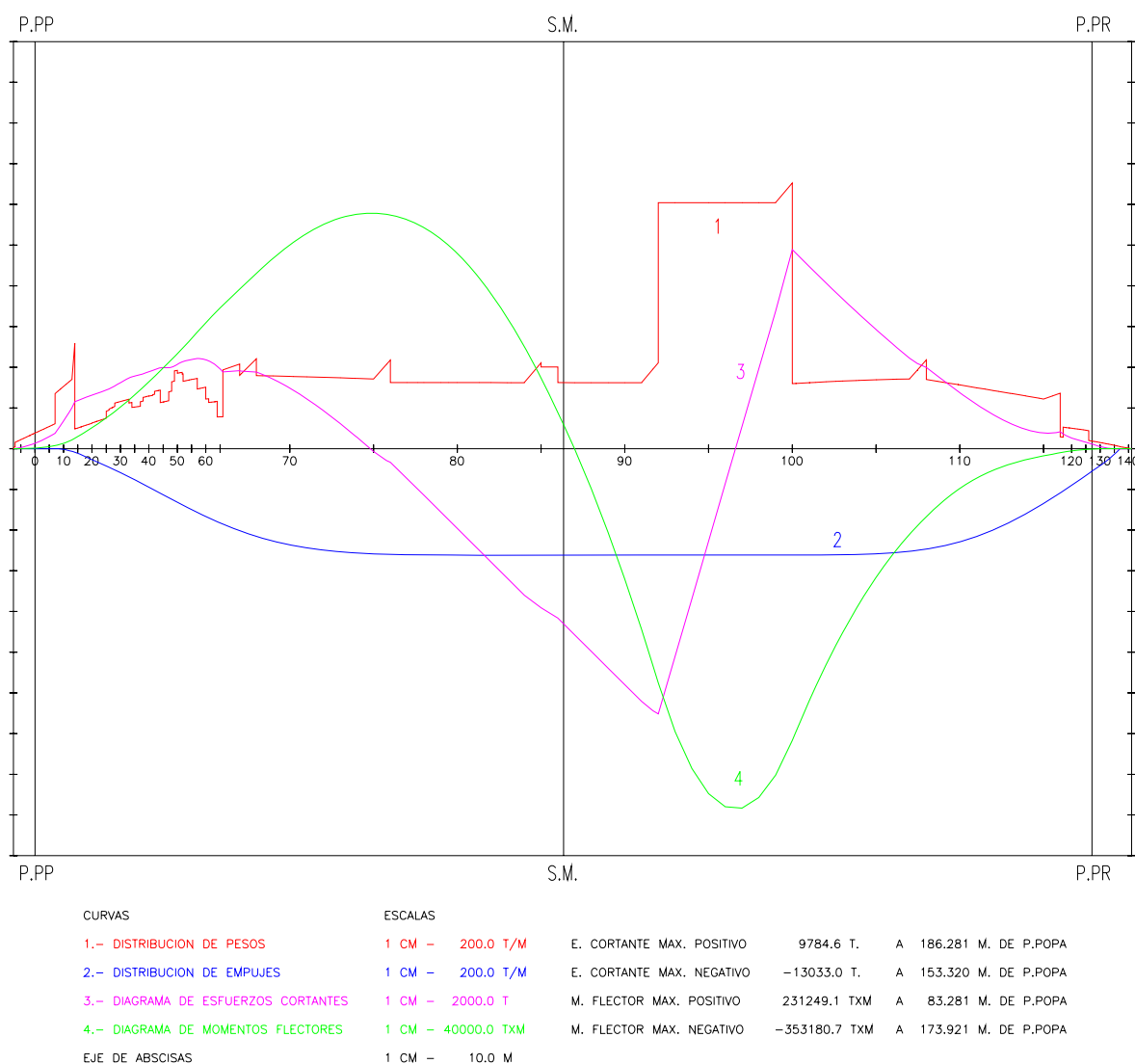


Situación de carga "0007"	LASTRE LLEGADA MAL TIEMPO
DESPLAZAMIENTO	= 109546.1 TONELADAS
ANGULO DE GZ MAXIMO	= 42.9 GRADOS
GZ MAXIMO	= 7.212 METROS
ALTURA METACENTRICA CORREGIDA	= 10.274 METROS



Ángulo de escora	KN (m)	GZ (m)	Area bajo la curva (mm rad)
0°	0,000	-0,020	0,00
10°	3,790	1,816	154,21
20°	7,736	3,915	651,64
30°	11,657	6,119	1534,98
40°	14,239	7,153	2710,35
50°	15,404	6,987	3957,72
60°	15,664	6,168	5113,40
70°	15,234	4,936	6087,38
80°	14,282	3,425	6820,99

Curvas resistencia longitudinal





Resistencia longitudinal

Parámetro	Valor	Cuaderna	Abscisa (m)
Esfuerzo cortante máximo positivo	9.784,55 t	100	186,280
Esfuerzo cortante máximo negativo	-13.033,04 t	92	153,320
Momento flector máximo positivo	231.249,14 t m	75	83,280
Momento flector máximo negativo	-353.180,70 t m	97	173,920

Los valores positivos son en quebranto y los negativos en arrufo.



7 ESTABILIDAD DESPUÉS DE AVERÍAS

La estabilidad después de averías se ha evaluado en el módulo FLOOD de FORAN60 considerando las 24 averías descritas anteriormente para cada una de las siete condiciones de carga.

Los criterios de estabilidad que se han de cumplir en todas las condiciones de averías son (MARPOL Regla 28 del Anexol):

- Cubierta de francobordo no sumergida
- Escora menor de 30°
- Rango de GZ positivo mayor de 20°
- Máximo GZ mayor de 0,10 m
- Área bajo la curva GZ hasta 20° mayor que 0,0175 m Rad.

Tal como se comentó en el punto 4.3 de este documento.

En las siguientes tablas se presenta un resumen con los resultados obtenidos donde puede comprobarse que se cumplen los criterios mínimos exigidos por el reglamento en todas las situaciones y para cada avería:



7.1 SC-0001 Buque a plena carga – condición de salida

Avería	Δ (t)	T_{popa} (m)	T_{proa} (m)	T_{med} (m)	Trim (m)	Escora (°)	GM (m)	GZ_{max} (m)	Rango GZ_{+} (°)	E. Din 20° (m rad)	¿Cumple MARPOL?
1	156123,3	15,79	18,70	17,25	-2,91	0,60	4,94	1,762	49,40	0,309	OK
2	132562,0	16,10	18,47	17,29	-2,38	0,71	4,87	1,739	49,29	0,305	OK
3	153021,4	16,48	17,52	17,00	-1,04	4,76	4,74	1,316	45,24	0,258	OK
4	125750,9	16,75	17,27	17,01	-0,52	0,80	4,54	1,659	49,20	0,287	OK
5	149615,9	16,75	17,20	16,97	-0,45	5,00	4,54	1,327	45,00	0,260	OK
6	125143,5	17,03	16,80	16,91	0,23	0,80	4,59	1,672	49,20	0,290	OK
7	149312,2	17,01	16,83	16,92	0,17	4,46	4,54	1,439	45,54	0,277	OK
8	125171,7	17,24	16,61	16,92	0,63	0,80	4,62	1,678	49,20	0,291	OK
9	149326,3	17,22	16,62	16,92	0,60	4,48	4,57	1,480	45,52	0,284	OK
10	126870,4	18,52	16,14	17,33	2,38	0,76	4,79	1,680	49,24	0,296	OK
11	150175,6	17,99	16,29	17,14	1,70	6,47	4,75	1,362	43,53	0,279	OK
12	146059,8	17,65	16,24	16,95	1,41	0,68	4,62	1,701	49,32	0,292	OK
13	157294,8	15,61	16,82	16,21	-1,22	-2,34	4,40	1,686	47,66	0,286	OK
14	168529,8	19,32	15,77	17,54	3,56	0,54	5,03	1,752	49,46	0,309	OK
15	172355,9	17,35	16,26	16,80	1,09	-0,00	4,71	1,764	50,00	0,298	OK
16	173304,6	20,91	14,56	17,73	6,35	0,30	4,64	1,563	49,70	0,284	OK
17	172267,8	20,79	14,61	17,70	6,19	-0,00	4,57	1,564	50,00	0,281	OK
18	173304,6	20,58	14,69	17,64	5,89	0,32	4,56	1,566	49,68	0,280	OK
19	173251,3	20,58	14,70	17,64	5,88	0,32	4,56	1,567	49,68	0,280	OK
20	173427,6	20,55	14,71	17,63	5,85	0,33	4,55	1,563	49,67	0,279	OK
21	173480,8	20,92	14,51	17,71	6,42	0,30	4,57	1,544	49,70	0,279	OK
22	164802,0	16,12	18,02	17,07	-1,90	2,38	4,81	1,596	47,62	0,292	OK
23	168935,5	22,75	13,93	18,34	8,83	5,58	4,52	1,074	44,42	0,230	OK
24	172765,5	20,40	14,77	17,58	5,63	-0,00	4,37	1,532	50,00	0,271	OK



7.2 SC-0002 Buque a plena carga – condición de llegada

Avería	Δ (t)	T_{popa} (m)	T_{proa} (m)	T_{med} (m)	Trim (m)	Escora (°)	GM (m)	GZ_{max} (m)	Rango GZ+ (°)	E. Din 20° (m rad)	¿Cumple MARPOL?
1	156652,7	15,82	18,79	17,30	-2,96	0,17	4,81	1,723	49,83	0,300	OK
2	133091,5	16,10	18,63	17,36	-2,53	0,21	4,71	1,700	49,79	0,295	OK
3	153550,9	16,53	17,56	17,05	-1,03	4,47	4,58	1,277	45,53	0,249	OK
4	126280,4	16,78	17,38	17,08	-0,60	0,24	4,38	1,621	49,76	0,276	OK
5	150145,3	16,80	17,24	17,02	-0,44	4,72	4,39	1,293	45,28	0,251	OK
6	125672,9	17,07	16,88	16,98	0,20	0,24	4,42	1,635	49,76	0,279	OK
7	149841,6	17,05	16,88	16,96	0,18	4,16	4,38	1,410	45,84	0,267	OK
8	125701,2	17,30	16,67	16,98	0,63	0,23	4,45	1,641	49,77	0,280	OK
9	149855,8	17,26	16,67	16,97	0,59	4,19	4,41	1,451	45,81	0,274	OK
10	124586,7	17,67	16,36	17,01	1,31	0,22	4,67	1,701	49,78	0,291	OK
11	149298,5	17,58	16,41	16,99	1,17	4,84	4,54	1,435	45,16	0,279	OK
12	143776,1	16,82	16,51	16,67	0,31	0,20	4,52	1,714	49,80	0,288	OK
13	157824,3	15,64	16,87	16,26	-1,23	-2,86	4,28	1,614	47,14	0,281	OK
14	166246,1	18,70	15,97	17,34	2,73	0,16	4,97	1,786	49,84	0,309	OK
15	174010,3	17,72	16,17	16,95	1,55	0,77	4,58	1,680	49,23	0,291	OK
16	174010,3	21,04	14,57	17,80	6,47	-0,12	4,53	1,510	49,88	0,276	OK
17	174010,3	21,31	14,46	17,88	6,85	0,75	4,44	1,434	49,25	0,268	OK
18	173928,1	20,68	14,72	17,70	5,96	-0,10	4,44	1,511	49,90	0,273	OK
19	173874,9	20,67	14,72	17,70	5,95	-0,10	4,44	1,511	49,90	0,273	OK
20	173957,0	20,61	14,75	17,68	5,87	-0,10	4,42	1,505	49,90	0,272	OK
21	173180,0	20,59	14,76	17,67	5,83	-0,10	4,50	1,533	49,90	0,277	OK
22	165331,5	16,17	18,07	17,12	-1,90	2,03	4,68	1,575	47,97	0,284	OK
23	169715,9	23,10	13,79	18,45	9,30	6,29	4,43	0,957	43,71	0,212	OK
24	173295,0	20,46	14,81	17,63	5,65	-0,48	4,24	1,467	49,52	0,263	OK



7.3 SC-0003 Buque en lastre - condición de salida

Avería	Δ (t)	T_{popa} (m)	T_{proa} (m)	T_{med} (m)	Trim (m)	Escora (°)	GM (m)	GZ _{max} (m)	Rango GZ+ (°)	E. Din 20° (m rad)	¿Cumple MARPOL?
1	70915,8	10,52	5,67	8,10	4,85	0,40	16,16	5,840	49,60	1,008	OK
2	65488,9	8,59	9,28	8,93	-0,69	0,52	13,54	4,996	49,48	0,852	OK
3	73349,7	9,43	7,53	8,48	1,90	-0,33	14,20	5,015	49,67	0,858	OK
4	65229,8	9,02	9,72	9,37	-0,70	0,60	11,77	4,350	49,40	0,743	OK
5	73220,2	9,43	8,04	8,74	1,39	1,20	13,25	4,798	48,80	0,817	OK
6	65692,8	10,33	8,59	9,46	1,74	0,59	11,87	4,382	49,41	0,749	OK
7	73451,7	9,98	7,71	8,85	2,27	1,75	13,30	4,961	48,25	0,853	OK
8	65690,5	11,88	7,52	9,70	4,35	0,57	12,31	4,513	49,43	0,774	OK
9	73450,5	10,72	7,21	8,96	3,50	2,16	13,50	5,162	47,84	0,877	OK
10	66697,6	15,12	5,96	10,54	9,16	0,54	12,73	4,599	49,46	0,792	OK
11	73954,1	12,24	6,44	9,34	5,80	4,39	13,65	5,230	45,61	0,896	OK
12	74458,8	13,69	5,70	9,69	7,99	0,45	13,59	4,972	49,55	0,852	OK
13	81210,6	11,60	6,32	8,96	5,28	2,08	14,51	5,287	47,92	0,915	OK
14	74458,8	11,14	6,35	8,74	4,79	0,42	14,85	5,372	49,58	0,925	OK
15	80085,6	9,94	6,84	8,39	3,10	-0,31	15,59	5,641	49,69	0,971	OK
16	81034,4	12,01	5,88	8,94	6,13	0,37	15,38	5,577	49,63	0,966	OK
17	79997,5	11,52	6,09	8,81	5,43	-0,27	15,52	5,606	49,73	0,970	OK
18	81034,4	11,56	6,07	8,82	5,49	0,37	15,28	5,550	49,63	0,959	OK
19	80981,1	11,55	6,08	8,82	5,48	0,37	15,29	5,552	49,63	0,960	OK
20	81157,3	11,52	6,09	8,81	5,43	0,37	15,23	5,533	49,63	0,957	OK
21	81210,6	11,52	6,09	8,81	5,43	0,37	15,22	5,529	49,63	0,956	OK
22	74665,8	10,37	5,91	8,14	4,46	-0,62	16,01	5,708	49,38	0,994	OK
23	75764,9	11,24	6,24	8,74	5,00	-0,46	15,18	5,404	49,54	0,936	OK
24	80495,3	10,74	6,47	8,61	4,27	-0,00	15,33	5,573	50,00	0,958	OK



7.4 SC-0004 Buque en lastre - condición de llegada

Avería	Δ (t)	T _{popa} (m)	T _{proa} (m)	T _{med} (m)	Trim (m)	Escora (°)	GM (m)	GZ _{max} (m)	Rango GZ+ (°)	E. Din 20° (m rad)	¿Cumple MARPOL?
1	72077,9	10,64	5,81	8,22	4,83	0,11	16,01	5,810	49,89	0,999	OK
2	66650,9	8,65	9,54	9,10	-0,89	0,15	13,43	4,952	49,85	0,844	OK
3	74511,8	9,58	7,63	8,60	1,95	-0,55	14,10	4,992	49,45	0,855	OK
4	66391,9	9,15	9,90	9,53	-0,75	0,17	11,72	4,334	49,83	0,738	OK
5	74382,3	9,59	8,13	8,86	1,46	0,97	13,16	4,656	49,03	0,811	OK
6	66854,8	10,51	8,72	9,61	1,78	0,17	11,82	4,370	49,83	0,745	OK
7	74613,7	10,15	7,79	8,97	2,35	1,53	13,22	4,990	48,47	0,846	OK
8	66852,5	12,09	7,62	9,86	4,47	0,16	12,29	4,506	49,84	0,771	OK
9	74612,6	10,89	7,29	9,09	3,60	1,95	13,41	5,033	48,05	0,871	OK
10	63583,5	13,40	6,51	9,96	6,90	0,16	12,87	4,720	49,84	0,806	OK
11	72978,1	11,23	6,83	9,03	4,40	0,97	13,46	5,015	49,03	0,860	OK
12	71344,8	11,92	6,38	9,15	5,54	0,13	13,98	5,159	49,87	0,879	OK
13	82372,7	11,78	6,39	9,08	5,40	1,83	14,42	5,206	48,17	0,909	OK
14	71344,8	9,64	6,99	8,31	2,65	0,12	15,47	5,582	49,88	0,960	OK
15	82372,7	10,57	6,70	8,63	3,87	0,17	15,24	5,497	49,83	0,947	OK
16	82372,7	12,29	5,89	9,09	6,40	0,10	15,48	5,564	49,90	0,959	OK
17	82372,7	12,34	5,87	9,11	6,46	0,23	15,35	5,501	49,77	0,949	OK
18	82290,5	11,81	6,10	8,96	5,70	0,10	15,16	5,536	49,90	0,952	OK
19	82237,2	11,80	6,11	8,95	5,69	0,11	15,17	5,539	49,89	0,953	OK
20	82319,4	11,72	6,14	8,93	5,58	0,11	15,13	5,523	49,89	0,950	OK
21	82372,7	11,72	6,14	8,93	5,58	0,10	15,12	5,520	49,90	0,949	OK
22	75827,8	10,52	6,00	8,26	4,52	-0,86	15,89	5,623	49,14	0,989	OK
23	76446,4	11,36	6,25	8,80	5,11	-1,71	15,10	5,325	48,29	0,936	OK
24	81657,3	10,94	6,52	8,73	4,42	-0,27	15,22	5,507	49,73	0,951	OK



7.5 SC-0005 Condición de lastre IMO

Avería	Δ (t)	T_{popa} (m)	T_{proa} (m)	T_{med} (m)	Trim (m)	Escora (°)	GM (m)	GZ_{max} (m)	Rango GZ+ (°)	E. Din 20° (m rad)	¿Cumple MARPOL?
1	71654,0	10,04	6,36	8,20	3,69	0,00	16,03	5,825	50,00	1,000	OK
2	66116,3	7,96	10,27	9,12	-2,31	0,00	13,55	4,988	50,00	0,849	OK
3	74137,6	9,02	8,11	8,57	0,91	-0,61	14,16	4,989	49,39	0,857	OK
4	65852,0	8,61	10,37	9,49	-1,76	0,00	11,88	4,391	50,00	0,746	OK
5	74005,5	9,06	8,54	8,80	0,52	0,79	13,23	4,715	49,21	0,814	OK
6	66324,4	9,97	9,09	9,53	0,88	0,00	11,94	4,417	50,00	0,751	OK
7	74241,7	9,61	8,17	8,89	1,45	1,21	13,26	4,999	48,79	0,847	OK
8	66322,0	11,49	7,98	9,73	3,50	0,00	12,32	4,537	50,00	0,773	OK
9	74240,5	10,30	7,67	8,99	2,63	1,50	13,41	5,115	48,50	0,867	OK
10	62986,4	12,53	6,97	9,75	5,56	0,00	12,78	4,737	50,00	0,804	OK
11	72572,6	10,45	7,29	8,87	3,16	0,22	13,45	5,092	49,78	0,849	OK
12	70906,0	11,07	6,90	8,98	4,17	0,00	13,99	5,183	50,00	0,880	OK
13	82158,9	11,19	6,81	9,00	4,38	1,64	14,41	5,252	48,36	0,907	OK
14	70906,0	8,94	7,46	8,20	1,48	0,00	15,53	5,609	50,00	0,962	OK
15	82158,9	10,04	7,11	8,58	2,93	0,05	15,24	5,504	49,95	0,947	OK
16	82158,9	11,68	6,35	9,01	5,33	0,00	15,28	5,572	50,00	0,959	OK
17	82158,9	11,71	6,33	9,02	5,38	0,11	15,17	5,515	49,89	0,949	OK
18	82158,9	11,23	6,54	8,88	4,69	0,00	15,19	5,548	50,00	0,952	OK
19	82158,9	11,25	6,53	8,89	4,72	0,00	15,19	5,549	50,00	0,952	OK
20	82158,9	11,12	6,59	8,85	4,54	0,00	15,16	5,534	50,00	0,950	OK
21	81311,6	10,54	6,89	8,71	3,65	0,00	15,31	5,583	50,00	0,958	OK
22	75480,5	9,97	6,46	8,22	3,51	-0,94	15,90	5,610	49,06	0,990	OK
23	76532,5	10,84	6,64	8,74	4,20	-1,74	15,05	5,313	48,26	0,934	OK
24	82158,9	10,76	6,76	8,76	4,00	0,00	15,06	5,494	50,00	0,943	OK



7.6 SC-0006 Buque en lastre - condición de salida con mal tiempo

Avería	Δ (t)	T_{popa} (m)	T_{proa} (m)	T_{med} (m)	Trim (m)	Escora (°)	GM (m)	GZ_{max} (m)	Rango GZ+ (°)	E. Din 20° (m rad)	¿Cumple MARPOL?
1	105166,9	10,06	13,93	11,99	-3,87	0,46	9,44	3,579	49,54	0,603	OK
2	98371,0	6,09	22,34	14,21	-3,25	0,58	8,09	3,005	49,42	0,511	OK
3	106231,9	10,16	14,31	12,24	-4,16	4,64	8,85	3,261	45,36	0,547	OK
4	98112,0	9,91	18,20	14,06	-8,29	0,66	7,15	2,731	49,34	0,460	OK
5	106102,4	10,97	14,06	12,51	-3,09	6,61	8,60	3,369	43,39	0,556	OK
6	98574,9	12,86	14,56	13,71	-1,70	0,63	7,44	2,811	49,37	0,475	OK
7	106333,8	12,29	12,74	12,51	-0,45	6,19	8,74	3,586	43,81	0,588	OK
8	98572,6	15,19	12,34	13,76	2,85	0,58	7,99	2,961	49,42	0,504	OK
9	106332,7	13,52	11,62	12,57	1,90	6,08	8,98	3,728	43,92	0,612	OK
10	95303,6	17,28	10,40	13,84	6,88	0,57	8,49	3,092	49,43	0,530	OK
11	104698,2	14,45	10,61	12,53	3,84	5,18	9,04	3,716	44,82	0,612	OK
12	103064,9	15,33	9,91	12,62	5,42	0,50	8,98	3,351	49,50	0,568	OK
13	114092,7	14,29	10,15	12,22	4,13	3,32	9,48	3,742	46,68	0,623	OK
14	103064,9	12,15	10,68	11,42	1,48	0,46	9,64	3,612	49,54	0,611	OK
15	112967,8	12,10	10,78	11,44	1,32	-0,25	9,90	3,740	49,75	0,631	OK
16	113916,5	14,52	9,66	12,09	4,86	0,39	10,04	3,733	49,61	0,634	OK
17	112879,7	14,18	9,80	11,99	4,38	-0,18	10,01	3,703	49,82	0,629	OK
18	113916,5	14,14	9,82	11,98	4,32	0,40	9,94	3,697	49,60	0,628	OK
19	113863,2	14,13	9,82	11,98	4,31	0,40	9,95	3,697	49,60	0,628	OK
20	114039,5	14,10	9,84	11,97	4,26	0,40	9,92	3,686	49,60	0,626	OK
21	113262,4	13,66	10,06	11,86	3,60	0,40	10,05	3,729	49,60	0,634	OK
22	108916,8	11,07	12,17	11,62	-1,09	1,04	9,63	3,618	48,96	0,609	OK
23	106509,0	13,52	10,05	11,78	3,47	-2,21	9,69	3,650	47,79	0,614	OK
24	113377,4	13,41	10,17	11,79	3,24	-0,00	9,90	3,675	50,00	0,622	OK



7.7 SC-0007 Buque en lastre - condición de llegada con mal tiempo

Avería	Δ (t)	T_{popa} (m)	T_{proa} (m)	T_{med} (m)	Trim (m)	Escora (°)	GM (m)	GZ_{max} (m)	Rango GZ+ (°)	E. Din 20° (m rad)	¿Cumple MARPOL?
1	102046,2	8,56	14,84	11,70	-6,28	0,13	9,77	3,679	49,87	0,619	OK
2	93824,4	5,39	21,89	13,64	-5,34	0,16	8,47	3,145	49,84	0,534	OK
3	101685,2	9,40	14,07	11,73	-4,67	3,99	9,19	3,290	46,01	0,565	OK
4	93565,3	9,15	17,79	13,47	-8,64	0,18	7,43	2,832	49,82	0,475	OK
5	101555,7	10,20	13,79	11,99	-3,59	5,82	8,83	3,422	44,18	0,571	OK
6	94028,3	12,03	14,24	13,14	-2,21	0,17	7,64	2,896	49,83	0,487	OK
7	101787,2	11,47	12,51	11,99	-1,04	5,37	8,95	3,683	44,63	0,603	OK
8	94025,9	14,29	12,09	13,19	2,20	0,16	8,17	3,037	49,84	0,515	OK
9	101786,0	12,64	11,44	12,04	1,20	5,22	9,17	3,837	44,78	0,626	OK
10	90757,0	16,22	10,26	13,24	5,97	0,16	8,62	3,161	49,84	0,539	OK
11	100151,5	13,44	10,52	11,98	2,92	4,13	9,16	3,792	45,87	0,621	OK
12	98518,2	14,27	9,87	12,07	4,40	0,14	9,21	3,461	49,86	0,583	OK
13	109546,1	13,37	10,09	11,73	3,28	2,79	9,77	3,777	47,21	0,640	OK
14	98518,2	11,20	10,65	10,92	0,54	0,13	9,99	3,746	49,87	0,633	OK
15	109546,1	11,71	10,52	11,12	1,19	0,24	10,20	3,843	49,76	0,648	OK
16	109546,1	13,66	9,60	11,63	4,06	0,10	10,48	3,887	49,90	0,658	OK
17	109546,1	13,76	9,56	11,66	4,20	0,33	10,34	3,847	49,67	0,652	OK
18	109463,9	13,22	9,79	11,51	3,42	0,11	10,38	3,851	49,89	0,652	OK
19	109410,6	13,21	9,80	11,50	3,41	0,11	10,38	3,852	49,89	0,652	OK
20	109492,8	13,14	9,83	11,48	3,31	0,11	10,35	3,841	49,89	0,650	OK
21	108715,7	12,66	10,08	11,37	2,58	0,11	10,51	3,890	49,89	0,658	OK
22	105796,1	9,74	12,86	11,30	-3,12	0,87	9,92	3,640	49,13	0,626	OK
23	103626,5	13,29	9,72	11,51	3,57	-1,21	9,96	3,687	48,79	0,623	OK
24	108837,4	12,43	10,17	11,30	2,26	-0,29	10,35	3,808	49,71	0,647	OK



8 TABLAS RESUMEN Y ANÁLISIS DE LAS SITUACIONES DE CARGA

La siguiente tabla resume los parámetros más importantes a los que se ha llegado en las distintas condiciones de carga propuestas:

Condición de carga	Δ (t)	Peso muerto (t)	T med (m)	Trimado (m) *	GM _c (m)	KG (m)
0001 Plena carga salida	173.480,8	146.070,8	16,691	0,526	4,631	13,561
0002 Plena carga llegada	174.010,3	146.600,3	16,737	0,521	4,559	13,312
0003 Lastre salida	81.210,6	53.800,6	8,316	2,723	15,361	10,016
0004 Lastre llegada	82.372,7	54.962,6	8,430	2,813	15,227	9,989
0005 Lastre IMO	82.158,9	54.748,9	8,374	1,885	15,172	10,008
0006 Lastre mal tiempo salida	114.092,7	86.682,7	11,354	0,871	9,892	10,930
0006 Lastre mal tiempo llegada	109.546,1	82.136,1	10,906	0,117	10,274	10,842

* Todos los trimados son por popa.

Los parámetros de resistencia longitudinal que serán comprobados en el cuaderno 6 son:

Condición de carga	E. cortante máximo (+)	E. cortante máximo (-)	M. flector máximo (+)	M. flector máximo (-)
0001 Plena carga salida	2.123,72 t	-1.975,79 t	8.277,31 t m	-149.932,73 t m
0002 Plena carga llegada	2.171,71 t	-4.336,50 t	26.142,14 t m	-163.297,00 t m
0003 Lastre salida	7.527,56 t	-4.229,60 t	390.922,84 t m	-7,43 t m
0004 Lastre llegada	4.797,78 t	-4.102,47 t	356.686,10 t m	-6,79 t m
0005 Lastre IMO	4.039,86 t	-3.830,72 t	321.721,10 t m	-8,32 t m
0006 Lastre mal tiempo salida	8.939,87 t	-13.349,69 t	309.355,31 t m	-258.182,81 t m
0006 Lastre mal tiempo llegada	9.784,55 t	-13.033,04 t	231.249,14 t m	-353.180,70 t m

* Los valores positivos son en quebranto y los negativos en arrufo.

En este cuaderno se ha evaluado la estabilidad intacta y en averías del buque proyecto, comprobando que satisface todos los criterios impuestos por la reglamentación aplicable.



9 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Durante el desarrollo de todo el proyecto se ha hecho uso de una serie de referencias bibliográficas, las cuales se enumeran a continuación:

- [1] Ricardo Alvariño Castro, Juan José Azpíroz y Manuel Meizoso.; *“El proyecto básico del buque mercante”*, Ed. Fondo Editorial de Ingeniería Naval; Pub. 2007.
- [2] Lamb, Thomas (Written by an international group of authorities); *“Ship design and construction”*, Ed. Society of Naval Architects and Marine Engineers; Pub. 2004.
- [3] Holtrop, J. y Mennen G.G.J.; *“An approximate power prediction method”*, International Shipbuilding Progress; Pub. 1982.
- [4] Antonio Vaquero; *“Teoría del buque. Lecciones de resistencia al avance”*, Departamento de Artes Gráficas E.T.S.I.N.; Edición 2002.
- [5] Antonio Vaquero; *“Teoría del buque. Introducción a la propulsión de buques”*, Departamento de Artes Gráficas E.T.S.I.N.; Edición 2005.
- [6] Capitán I.G. Reigadas; *“El buque tanque”*, Ediciones EDG; Pub. 2004.
- [7] David G. M. Watson; *“Practical Ship Design”*, ELSEVIER OCEAN ENG. BOOK SERIES; Pub. 1998.
- [8] Guillermo Ricardo Gadea; *“Los buques tanque y su clasificación”*, PETROTECNIA; Abril 2004.
- [9] M.A. Meizoso, J.L. Garcés; *“Apuntes de proyectos”*, Departamento de Artes Gráficas E.T.S.I.N.
- [10] G. Pérez; *“Teoría del buque (Máquinas) Tomo II-B”*, Departamento de Artes Gráficas E.T.S.I.N.
- [11] Antonio Baquero; *“Análisis de comportamiento del buque bajo la acción del timón. Aspectos hidrodinámicos y de proyecto”*, Tesis Doctoral; Canal de experiencias hidrodinámicas, el Pardo; Publicación núm. 66. Madrid, Noviembre de 1981.
- [12] Álvaro Zurita y Sáez de Navarrete; *“Introducción al diseño de cámara de máquinas”*, Sección de Publicaciones E.T.S.I.N.
- [13] K. Van Dokkum; *“Ship knowledge, a modern encyclopedia”*, Editorial Dokmar; Pub. 2003.
- [14] Luis Ramón Núñez Rivas; Apuntes de clase de la asignatura “Instalaciones de vapor”, Año 2006.



- [15] Alfonso López de Asiaín Zabia; Apuntes de clase de la asignatura “Equipo y servicios”, Año 2004.
- [16] Amable López Piñeiro; *“Electricidad aplicada al buque – Diseño general de la planta eléctrica”*, Departamento de Artes Gráficas E.T.S.I.N; Pub 1999.
- [17] Amable López Piñeiro; *“Distribución eléctrica a bordo”*, Departamento de Artes Gráficas E.T.S.I.N; Pub 1999.
- [18] Manuel Meizoso Fernández y José Luis García Garcés. *“Desplazamiento. Cálculo iterativo del peso en rosca y el peso muerto”*, Departamento de publicaciones de la ETSIN; Pub Junio 2000
- [19] Manuales de FORAN60.
- [20] *“Common Structural Rules for Double Hull Oil Tankers (CSR)”* publicadas por IACS y en vigor desde el 1 de Abril de 2006
- [21] Lloyds Register of Shipping; *“Rules and Regulations for the Classification of Ships”*; Edición de 2007
- [22] Convenio SOLAS, Edición consolidada 2004.
- [23] Convenio MARPOL 73/78/90 y enmiendas.
- [24] Convenio Internacional sobre Líneas de Carga de 66/88 (Edición revisada 2005).
- [25] Convenio Internacional de 23 de Junio de 1969, sobre Arqueo de Buques hecho en Londres. En vigor desde 18 de Julio de 1982.
- [26] Lloyd’s Register of Shipping; *Lloyd’s Register Information*; <http://www.lr.org>
- [27] Base de datos de buques de Lloyd’s Register of Shipping; <http://www.sea-web.com>
- [28] Jaime Torroja Méndez. *“Apuntes de proyectos. Volumen 1”*; Departamento de publicaciones de la ETSIN; Pub 1987.
- [29] *“Standards for Oil Tanker Manifolds and Associated Equipment”*; Oil Companies International Marine Forum (OCIMF). 3rd Edition 1981.
- [30] *“Recommendations for Equipment Employed in the Mooring of Ships at Single Point Moorings”*; Oil Companies International Marine Forum (OCIMF). 2nd Edition, 1988.
- [31] *“Shipping and shipbuilding markets. Annual Review 2009”*; Barry Rogliano Salles. Pub 2009.

PROYECTO 1.731
PETROLERO PARA CRUDO 150.000 TPM

CUADERNO 10

EQUIPO Y SERVICIOS



Tutor: D. Francisco Alonso Thous

Realizado por: José Antonio Durango Ramón



CONTENIDOS

1	INTRODUCCIÓN	2
2	NOMENCLATURA	3
3	SERVICIOS DE CASCO.....	4
3.1	Servicio de gobierno	4
3.2	Servicio de fondeo	5
3.3	Medios de amarre y remolque	8
3.4	Servicio de contraincendios	10
3.4.1	Sistema de extinción de incendios con agua salada	10
3.4.2	Sistema automático de rociadores en acomodación	11
3.4.3	Sistema de contraincendios en cámara de máquinas	13
3.4.4	Sistema de contraincendios de la cubierta en la zona de carga	14
3.4.5	Extintores portátiles de incendios	16
3.5	Servicio de sentinas.....	16
3.6	Servicio de lastre	17
3.7	Servicios de acceso a los espacios cerrados	17
3.7.1	Acceso a las superestructuras	17
3.7.2	Acceso a los locales bajo la cubierta principal.....	18
3.7.3	Escala del práctico	19
3.7.4	Acceso a los espacios de la zona de carga	19
3.7.5	Grúas	20
3.8	Sistemas de salvamento.....	20
3.8.1	Dispositivos individuales de salvamento.....	20
3.8.2	Embarcaciones de supervivencia	22
3.8.3	Otros dispositivos.....	26
4	SERVICIOS DE LA CARGA.....	27
4.1	Grúas de mangueras	27
4.2	Sistema de gas inerte	27
4.3	Sistema de descarga	30
4.4	Sistema para limpieza de tanques.....	33
4.5	Sistema de calefacción de la carga	34
4.6	Sistema de venteo o respiro de los tanques de carga.....	36
5	SERVICIOS DE HABILITACIÓN	37
5.1	Compartimentado y elementos principales.....	37
5.2	Climatización: Aire acondicionado y calefacción	39
5.3	Cámaras refrigeradas (gambuzas)	39
5.4	Agua potable.....	39
5.5	Agua caliente	39
6	SERVICIOS DE NAVEGACIÓN Y COMUNICACIONES.....	40
6.1	Equipo de ayuda a la navegación.....	40
6.2	Comunicaciones externas	41
6.3	Comunicaciones internas	42
7	SERVICIO DE ALUMBRADO	43
7.1	Alumbrado espacios internos	43
7.2	Alumbrado exterior	45
7.3	Luces de navegación	46
8	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47



1 INTRODUCCIÓN

En este cuaderno se va a completar el equipamiento que debe ser instalado a bordo del buque proyecto. Gran parte de este equipo se ha definido ya en el cuaderno 7 de proyecto.

Para la definición y dimensionamiento de algunos equipos es necesario cumplir ciertos reglamentos tanto relativos a la sociedad de clasificación como de MARPOL y sobre todo de SOLAS en lo relativo a equipos de salvamento y sistemas de contraincendios.

Los servicios que se definen en este cuaderno son:

- Servicios de casco
- Servicios de la carga
- Servicios de habilitación
- Servicios de navegación y comunicaciones
- Servicios de alumbrado

Con ello se terminará de definir el equipamiento básico de un buque de estas características.



2 NOMENCLATURA

Variable	Descripción (unidades)
P	Potencia (kW)
Q	Caudal volumétrico (m ³ /h)
Q _M	Caudal másico (kg/h)
NE	Numeral de equipo
B	Manga del buque (m)
M	Masa (kilogramos)
v	Velocidad (m/s)
f	Coeficiente de rozamiento
η	Rendimiento
S	Superficie (m ²)
V	Volumen (m)
ce	Calor específico de un fluido (kcal/kg °C)
ρ	Densidad (kg/m ³)
q	Energía, flujo de calor (kcal/h)
V	Volumen (m ³)
D	Diámetro (m)
	Flujo luminoso (lúmenes)
E	Iluminancia (luxes)
S	Superficie (m ²)
F _d	Factor depreciación (iluminación)
F _u	Factor de utilización (iluminación)



3 SERVICIOS DE CASCO

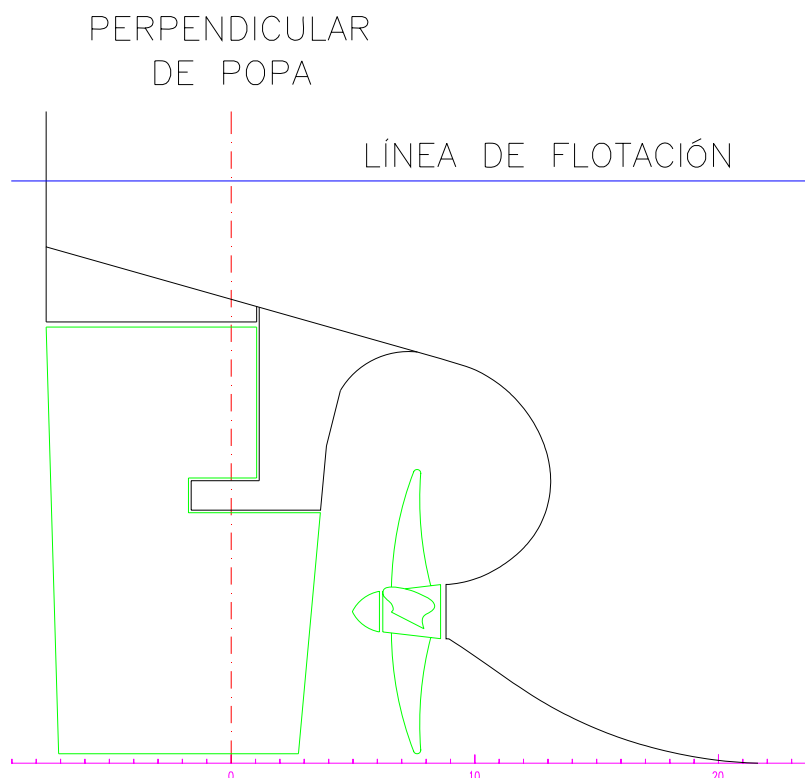
Se describen en este punto los distintos servicios de casco, alguno de los cuales ha sido ya descrito en el cuaderno 7 de cámara de máquinas.

3.1 Servicio de gobierno

El proceso de diseño del timón está descrito en el punto 5 del cuaderno 5 del proyecto, como consecuencia de este proceso se llegó a un timón con las siguientes características:

Área del timón	78,62 m ²
Porcentaje área de compensación	24,2 %
Altura del timón	12,310 m
Cuerda	6,224 m
Espesor	0,934 m
Ángulo de desprendimiento de flujo	38,0°
Relación de alargamiento	1,979
Relación de espesor	0,15

El cual, tras comprobar que dotaba al buque de la suficiente maniobrabilidad, fue acoplado a las formas como se muestra en la siguiente imagen:





El servomotor (que fue dimensionado en el mismo punto) es de accionamiento electrohidráulico y se dimensionó en base a las disposiciones de la sociedad de clasificación siendo su potencia nominal de **79,00 kW**.

Además, la sociedad de clasificación en su Parte 5 – Capítulo 19, establece la obligatoriedad de dotar al buque de dos mecanismos de gobierno siendo uno de ellos auxiliar para que el buque no quede inoperativo en caso de fallo del principal.

Estos mecanismos se controlan totalmente desde el puente de gobierno y la transferencia de uno a otro debe poderse hacer en cualquier momento.

3.2 Servicio de fondeo

Para definir el servicio de fondeo lo primero es calcular el numeral de equipo, pues en base a ello la sociedad de clasificación impone ciertos requisitos. El numeral de equipo “NE” se calcula a partir de la expresión indicada en el reglamento de la sociedad de clasificación en su Parte 3 – Capítulo 1 – Sección 7:

$$NE = \Delta^{2/3} + 2 \cdot B \cdot H + \frac{A}{10}$$

Siendo:

- “Δ” El desplazamiento a plena carga en la condición de verano que vale 174.683 toneladas.
- “B” es la manga del buque que es 47 metros.
- “H” es la suma de las alturas de las cubiertas cuya manga sea mayor de 0,25 B = 11,75 metros más el francobordo en la condición de plena cara en verano que es 7,5 metros; Teniendo en cuenta todo ello el valor de H es 24,8 metros.
- “A” es el área de perfil de la obra muerta del buque en la condición de plena carga de verano excluyendo las superestructuras con manga inferior a 11,75 metros, este valor es 2.293 m².

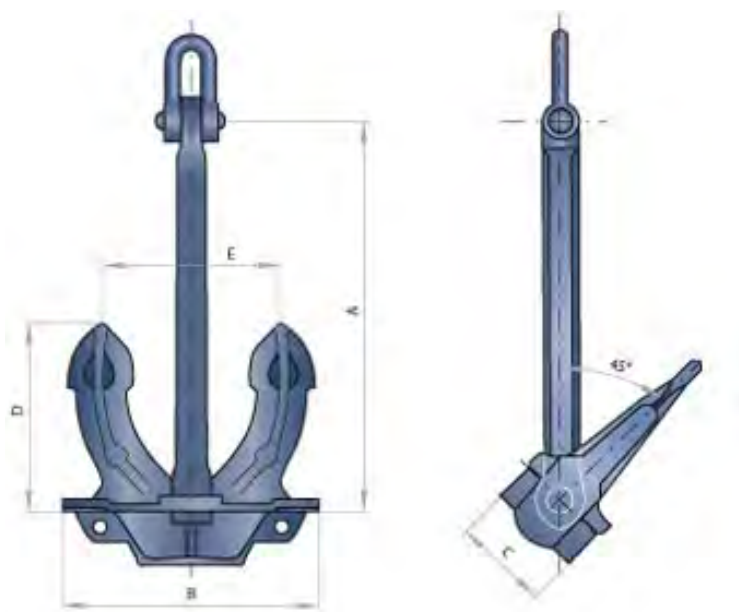
El numeral de equipo del buque es:

$$NE = 174.683^{2/3} + 2 \cdot 47 \cdot 24,8 + \frac{2.293}{10} = 5.685$$

El sistema de fondeo está formado por los siguientes elementos:

Ancla

De tipo Hall, de acero forjado; Según las reglas de la sociedad de clasificación (Parte 3 – Capítulo 13 – Tabla 13.7.2) y en función del numeral de equipo, el buque debe disponer de 2 anclas iguales con un peso de 16,9 toneladas. Una imagen que muestra este tipo de anclas es la siguiente:



Por tanto, el buque deberá llevar dos anclas dispuestas a proa en cada banda más una de respeto. El ancla se une a la cadena mediante un grillete super-giratorio y eslabones de conexión.

Cadenas

En la misma tabla, la sociedad de clasificación indica los requerimientos que deben cumplir las cadenas del ancla:

Longitud total de cadena	742,5 m
Diámetros de los redondos de los eslabornes	
Mild Steel (Grade 1 or U1)	130 mm
Special Quality Steel (Grade U2)	114 mm
Extra Special Quality Steel (Grade U3)	100 mm

Escogiendo la opción de acero de grado “U2” (cuya resistencia a tracción debe estar entre 490 y 690 N/mm²). Cada largo de cadena mide 27,5 metros por lo que la cadena está compuesta de 27 largos cuya masa incluyendo el grillete de unión desmontable tipo Kenter es de 7.505 kg. Por tanto, se dispone de una cadena de 13 largos a babor y otra de 14 largos a estribor con una longitud total de 357,5 y 385 metros respectivamente y un peso total de ambas de 202,64 toneladas

Molinete

Se dispondrán dos molinetes monoancla que deben cumplir con las normas de la sociedad de clasificación al respecto (Parte 3 – Capítulo 13 – Regla 7.6). La potencia del equipo debe ser tal que permita levar el ancla desde 82,5 a 27,5 metros de profundidad a una velocidad media de 9 m/min. El molinete es de accionamiento electrohidráulico, la potencia requerida para llevar a cabo esta función es:



$$P = 9,81 \cdot (M_{\text{Cadena}} + M_{\text{Ancla}}) \cdot \frac{v \cdot f}{\eta_m \cdot \eta_e}$$

Donde:

- “ M_{Cadena} ” y “ M_{Ancla} ” son las masas de la cadena y del ancla fuera del agua que respectivamente valen 105 y 16,9 toneladas respectivamente.
- “ v ” velocidad de izado $9 \text{ m/min} = 0,15 \text{ m/s}$.
- “ f ” coeficiente de rozamiento entre cadena y escoben que se estima en 1,5.
- “ η_m ” Rendimiento mecánico del molinete se toma igual a 0,70.
- “ η_e ” Rendimiento de la instalación electrohidráulica se toma igual a 0,90.

La potencia eléctrica nominal de cada equipo es:

$$P = 9,81 \cdot (105.070 + 16.900) \cdot \frac{0,15 \cdot 1,5}{0,70 \cdot 0,90} = 427,33 \text{ kW}$$

Estos molinetes llevan acoplados carreteles partidos para el manejo del equipo de amarre de proa al igual que las maquinillas de amarre llevan también acoplados cabirones para el manejo a mano de los cabos de amarre. Su disposición se ha hecho de acuerdo a los requerimientos de la OCIMF (Referencia [30]).

Cajas de cadenas

Para estibar a bordo las cadenas del ancla se disponen dos compartimentos a proa del mamparo de colisión del buque y bajo la cubierta principal, justo debajo de cada uno de los molinetes de ancla.

La estructura de los mamparos que limitan ambos compartimentos está formada por planchas y refuerzos verticales que se colocarán por el exterior para evitar su deformación y desgaste por el rozamiento de la cadena.

La cadena se amarra en la parte inferior del compartimento a través de un grillete de seguridad, de tal forma que cuando la tracción sea excesiva se libere la cadena para que no dañe a la estructura del buque.

El fondo de las cajas de cadenas está dividido por una base no estanca con el fin de recoger el agua y los fangos que arrastra la cadena, todo ello se recoge en un pequeño tanque que dispone de una bomba de achique al mar.

La capacidad de cada caja se determina a través de la siguiente expresión:

$$V_{\text{Cadena}} = 0,082 \cdot d_c^2 \cdot L_{\text{Cadena}} \cdot 10^{-4} = 0,082 \cdot 114^2 \cdot 385 \cdot 10^{-4} = 41,03 \text{ m}^3$$

La base de la caja es cuadrada de 3 metros de lado con lo que la altura que ocupa el montón de cadena es 4,56 metros, dejando una altura libre de 1,8 metros en la parte superior para permitir inspecciones y 1,6 en la parte baja para tanque de recogida de agua y residuos el volumen total de cada caja de cadenas es **71,64 m³**.



Estopor

Se colocan dos estopores de rodillo para reducir el rozamiento de la cadena en la boca del escobén al girar sobre el rolín, también sirve para retener la cadena impidiendo que la tensión de la misma ejerza una acción directa sobre el molinete.

Se colocarán entre el molinete y la salida exterior de la cadena a través del escobén.

Escobén

La longitud del escobén deber ser tal que al quedar la caña del ancla estibada en su interior, los mapas del ancla queden perfectamente acoplados al casco del buque y permita poder empujar el ancla hacia abajo en caso de que quede trabada dentro de él.

Debido a la existencia de bulbo de proa, se debe tener especial cuidado en la situación del escobén para que el ancla no colisione con el casco en las operaciones de fondeo. Además en la boca de entrada se coloca una salida de agua para retirar fangos que la cadena arrastra del fondo marino.

El diámetro del escobén se estima a través de la siguiente expresión:

$$D_{\text{Escoben}} = (0,03867 \cdot (100 - d_c) + 7,5) \cdot d_c$$

Siendo “ d_c ” el diámetro de los redondos de los eslabones de la cadena (114 mm) por lo que el diámetro requerido es:

$$D_{\text{Escoben}} = (0,03867 \cdot (100 - 114) + 7,5) \cdot 114 = 793 \text{ mm}$$

Bozas de cadenas

Este elemento es necesario para tensar adecuadamente el trozo de cadena comprendido entre el estopor y el ancla cuando ésta se encuentra estibada dentro del escobén.

Están formadas por tramos de cadena, los cuales se fijan por un extremo a la cubierta y por el otro a la cadena del ancla a través de un grillete que se trinca a algún eslabón que quede entre el estopor y el escobén.

3.3 Medios de amarre y remolque

El sistema de amarre sirve para fijar al buque a uno o más puntos situados por encima de la superficie del agua, mientras que el sistema de remolque sirve para que el buque pueda ser o remolcado o incluso remolcar a otras embarcaciones.

Los elementos más significativos del sistema se describen a continuación:



Cables y cabos

La sociedad de clasificación no impone ningún requisito a este respecto por ser el buque mayor de 90 metros de eslora. En cuanto a la especificación del buque impone como requisito que el amarre debe hacerse a través de 18 líneas sobre carretel partido. Se imponen los siguientes requisitos para los cabos y cables de amarre:

- Cabos: Se disponen de cabos cuya carga de rotura sea superior a 736 kN.
- Cable de remolque: Se disponen cables con una resistencia mínima de 1.500 kN, con una longitud de 300 metros.

Maquinillas de amarre

Se instalan 3 maquinillas a popa, 4 a lo largo de la eslora en la zona de carga y en la zona de proa los molinetes del ancla se equipan de tambores para poder servir también a las maniobras de amarre. Todos los tambores por imposición de la especificación serán de carretel partido con un total de 18 líneas de amarre, como puede verse en el plano de disposición general.

Los chigres de amarre tendrán una capacidad de tiro unitaria de 10 toneladas y trabajarán a una velocidad de 15 m/min (0,25 m/s). El accionamiento de estas máquinas es electrohidráulico y la potencia unitaria que absorben es la siguiente:

$$P = \frac{10.000 \cdot 9,81 \cdot 0,25}{0,7} = 35,04 \text{ kW}$$

Estas maquinillas disponen de cabirones para que los cabos de amarre puedan ser manejados a mano en caso de fallo de los equipos.

Elementos de soporte y guiado de cabos y amarras

Estos elementos están sólidamente unidos a la estructura de la cubierta y sirven para la sujeción y guiado de los cables y amarras del sistema. Los elementos están distribuidos por toda la eslora del buque y a ambos costados y son:

- **Bitas:** Por especificación deben cumplir con los requerimientos OCIMF y EXXON. Con un diámetro de 630 mm, se disponen ocho a proa, ocho a popa y ocho a cada banda y a lo largo de toda la eslora. Esto supone un total de 32 bitas.
- **Guías:** Se dispondrán guías para orientar la dirección de los cabos y protegerlos contra el rozamiento con los cantos de la plancha del costado y cubiertas. Se han dispuesto un total de 46 guías (14 a popa, 8 a proa y 24 repartidas a lo largo de toda la eslora).
- **Rodillos horizontales:** se disponen estos dispositivos en cada línea de amarre de la zona de carga de la cubierta para salvar las tuberías dispuestas en la zona central.



3.4 Servicio de contraincendios

Para la definición de los distintos sistemas de contraincendios se sigue lo dispuesto en el convenio SOLAS (Capítulo II-2 Prevención, detección y extinción de incendios), en los siguientes puntos se detalla cada uno de estos sistemas.

3.4.1 Sistema de extinción de incendios con agua salada

El agua salada del mar se utiliza como agente extintor principal dado que no debe almacenarse a bordo. El sistema consiste en una red de tuberías que toma el agua salada del mar y la distribuye por todos los locales a proteger del buque, disponiendo en ellos los medios adecuados para proyectar el agua sobre el foco de incendio.

Elementos del sistema:

- **Tomas de mar:** Se dispone una toma de mar por cada bomba, disponiendo cada una de ellas de rejilla exterior y filtro interior para evitar la entrada de elementos sólidos.
- **Bombas:** Se trata de bombas centrifugas autocebadas, éstas pueden ser utilizadas para otros usos siempre que no se utilicen para bombear líquidos inflamables. Por tratarse de un buque de más de 1.000 toneladas de arqueo bruto debe disponer de dos bombas cuyo caudal se calcula en función de la capacidad de achique de sentinas:

$$Q = \frac{4}{3} \cdot Q_{\text{Sentinas}} = \frac{4}{3} \cdot 45,0 = 60,0 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Es la capacidad total que deben tener ambas bombas, suponiendo un salto de presión de 42 m.c.a. (para que se tenga suficiente presión en todos los espacios del buque) y un rendimiento total de 0,6 la potencia eléctrica total de cada una de estas bombas es:

$$P = \frac{\frac{60,0}{3.600} \cdot 42 \cdot 9,81 \cdot 1.000}{0,6} = 11,45 \text{ kW}$$

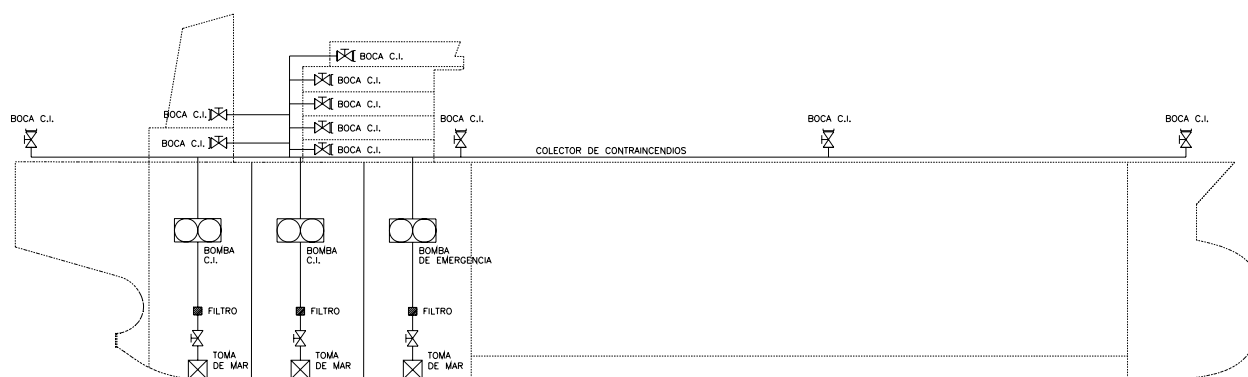
Además debe disponerse una bomba de emergencia de cómo mínimo el 40% del caudal de contraincendios, por lo que se decide disponer de una tercera bomba igual a las anteriores. Todas las bombas del sistema se deben disponer en espacios independientes para asegurar el suministro de agua al circuito.

- **Colector de contraincendios:** Es la tubería principal del sistema donde descargan los sistemas de bombeo, debe ir de proa a popa del buque y dar servicio a todos los espacios a proteger por el sistema.
- **Ramales a los espacios:** Desde el colector de contraincendios, se disponen ramales a todos los espacios a proteger con el fin de hacer llegar el agua salada a todos ellos. Los espacios a proteger son:
 - Bloque de acomodación
 - Espacios de servicios y talleres
 - Cámara de máquinas
 - Cubiertas expuestas



- **Bocas de contraincendios:** Dentro de cada espacio se dispondrán bocas de contraincendios para controlar la distribución de agua salada, estas bocas deben disponer de válvulas de accionamiento manual y conexión rápida de manguera de tipo homologado internacional.
- **Mangueras:** Deben ser de material no perecedero, su longitud puede variar entre 18 y 25 metros, según el reglamento el buque proyecto debe disponer de una manguera por cada 30 metros de eslora más una de reserva, por tanto al tener el buque proyecto una eslora total de 271 metros se han de disponer 10 mangueras y una de repuesto como mínimo.
- **Conexión internacional a tierra:** Se dispone en el colector de contraincendios para poder suministrar agua al circuito desde el puerto en previsión de que los medios de energía del buque se encuentren apagados.

El esquema del sistema es el siguiente:



3.4.2 Sistema automático de rociadores en acomodación

Se trata de un sistema fijo de extinción de incendios para proteger los espacios que se encuentran dentro del bloque de acomodación, dicha protección se lleva a cabo proyectando agua sobre la superficie del espacio a proteger.

El sistema es alimentado con agua dulce, aunque una vez agotada la almacenada a tal efecto si el incendio no ha sido apagado se proyectará agua salada por medio de una bomba. El sistema debe ser capaz de suministrar un caudal de agua de 5 l/min por metro cuadrado de superficie a proteger. Los principales elementos del sistema son:

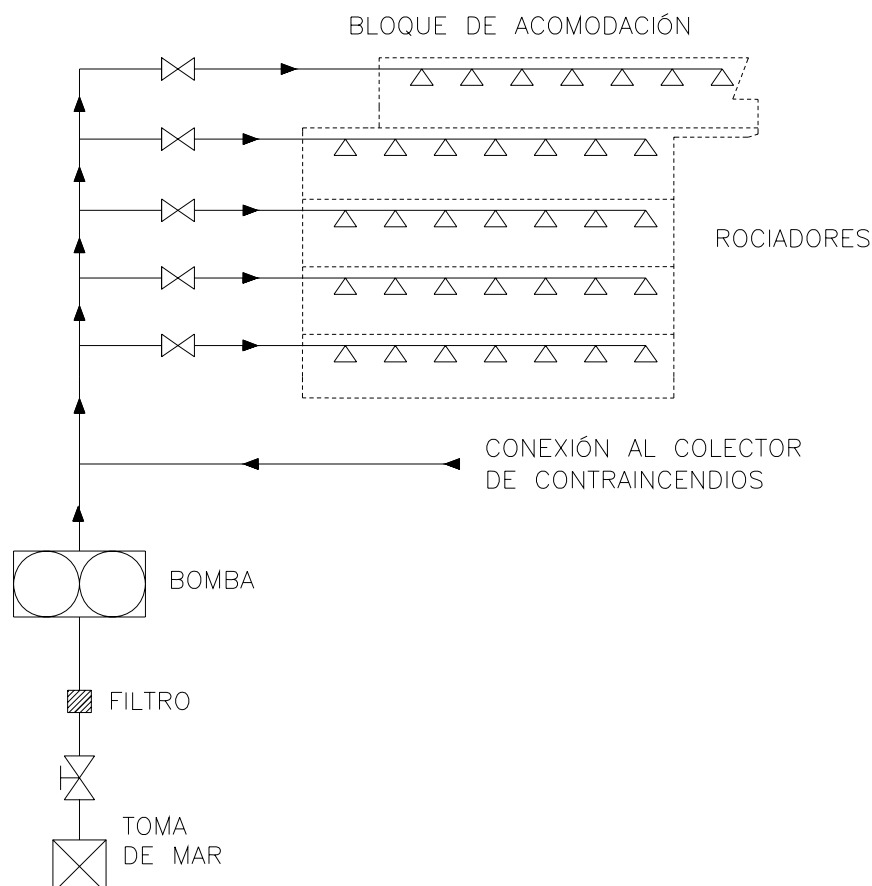
- **Bomba de agua salada:** Bomba que automáticamente se acciona cuando la presión del circuito disminuye al agotarse el agua dulce. Para el dimensionamiento de esta bomba se divide la acomodación en cubiertas siendo el área de una de ellas el área máxima a proteger que es 379 m². Teniendo en cuenta este área el caudal que debe tener la bomba es 1.895 l/min = 113,7 m³/h, con un salto de presión de 42 m.c.a. para garantizar que llegue a todos los espacios de acomodación. La potencia de esta bomba será:



$$P = \frac{\frac{113,7}{3.600} \cdot 42 \cdot 9,81 \cdot 1.000}{0,6} = 78,08 \text{ kW}$$

- Tanque de agua dulce: Es un tanque presurizado donde se almacena el agua dulce que se utiliza para extinguir el incendio, dispone de conexión de agua dulce y de aire comprimido para mantener la presión en su interior. En el dimensionamiento de este tanque se tiene en cuenta que debe ser capaz de descargar los 5 l/min sobre la mayor zona durante 1 minuto, aunque por temas de seguridad se duplicará esta capacidad, en consecuencia la capacidad mínima del tanque ha de ser de **3,80 m³**.
- Rociadores automáticos: Se sitúan en las salidas de agua del circuito garantizando una distribución uniforme del agua del circuito sobre cada zona. Su número y disposición debe ser la adecuada para cubrir todo el espacio a proteger. Su apertura será automática por efecto del incendio, de modo que solo se activan aquellos próximos al incendio y no todo el espacio a proteger.
- Conexión al colector de contra incendios: El sistema dispone de una conexión de alimentación desde el colector de contra incendios de modo que pueda ser alimentado por las bombas de agua salada en caso de fallo de la bomba del sistema de rociadores en acomodación.

El esquema de la instalación se muestra a continuación:





3.4.3 Sistema de contraincendios en cámara de máquinas

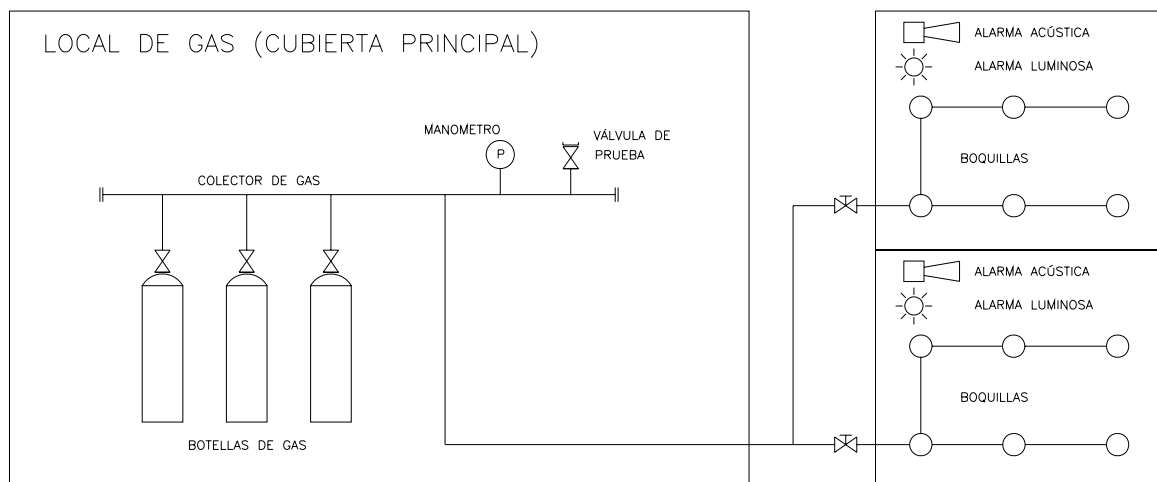
La lucha contraincendios en la cámara de máquinas se hace a través de gas, la ventaja principal de este sistema es que no daña los equipos, como si que lo hace el agua de mar.

El sistema funciona con gases almacenados en botellas (se puede usar CO₂ o Halón) y debido a la peligrosidad del sistema su accionamiento nunca se hace de forma manual. Los principales elementos del sistema son:

- Botellas de gas: El gas se almacena en botellas individuales, cada una de ellas dispone de válvula de raíz que permita aislarla del sistema para poder rellenarla.
- Colector de gas: Las botellas descargan a un colector común que se encarga de distribuir el gas hasta el local a proteger, en este colector se deben disponer manómetros, conexión de aire comprimido (para probar el sistema) y válvulas de seguridad.
- Distribución de gas: Dentro de cada local se disponen las tuberías de forma que se garantice una descarga uniforme del gas.
- Alarma acústica y luminosa: Cada local protegido por este sistema dispondrá de alarmas para indicar que se va a proceder a liberar el gas de forma que las personas que haya en su interior puedan abandonar el local. El proceso de accionamiento del sistema se realiza de acuerdo a la siguiente secuencia:
 - Detección del incendio ya sea de forma automática (detector) o de forma manual (actuador).
 - Se activa la alarma acústica y luminosa del local correspondiente.
 - Transcurre un tiempo de demora antes de liberar el gas, para garantizar que las personas han podido salir del local.
 - Todas las aberturas y entradas de aire se cierran de forma remota.
 - Se abre la válvula de control correspondiente al local donde se detectó el incendio.
 - Se libera el gas en el interior del local a través de las boquillas.

El sistema debe poder inundar por completo el espacio de cámara de máquinas, la potencia del sistema se estima en **15,00 kW** trabajando a su máxima capacidad.

El equipo debe estar dispuesto en un espacio externo a la cámara de máquinas, por ello se ha situado en la superestructura del guardacalor y la chimenea aislado en un local independiente. Un esquema de la instalación se muestra a continuación:



3.4.4 Sistema de contraincendios de la cubierta en la zona de carga

Sistema de extinción de incendios a base de espuma de baja expansión para proteger la cubierta de carga del buque, debe cumplir con dos funciones:

- Cubrir toda la cubierta exterior de los tanques de carga.
- Introducir espuma en el interior de uno de los tanques, creando una película de espuma sobre la superficie libre del mismo.

Para ello el sistema consta de dos subsistemas:

- **Bocas de contra incendios de espuma** para poder introducir espuma en los tanques. Deben tener un alcance mínimo de 15 metros y una capacidad de al menos 400 l/min.
- **Cañones de espuma** para cubrir toda la cubierta de carga, su capacidad ha de ser de al menos 3 l/min por metro cuadrado de solución espumosa (y siempre mayor de 1.250 l/min).

Se dispondrán las bocas y cañones necesarios para cumplir con las funcionalidades del sistema. Cada cañón debe ser capaz de suministrar al menos el 50 % del caudal total de espuma requerido para el sistema. Para dimensionar el sistema se toma el mayor de los siguientes criterios:

- Criterio para cubrir la cubierta de carga: capacidad suficiente para suministrar un caudal de solución espumosa de $0,6 \text{ l/min m}^2$ a todo el área de la cubierta en la zona de carga, cuyo valor es $9.359,6 \text{ m}^2$ por lo que el caudal requerido es: $5.616 \text{ l/min} = 336,9 \text{ m}^3/\text{h}$.
- Criterio para atacar un tanque de carga: capacidad suficiente para suministrar un caudal de solución espumosa de 6 l/min m^2 a todo el área del mayor de los tanques de carga que es $694,2 \text{ m}^2$ por lo que el caudal requerido es: $4.165,2 \text{ l/min} = 249,9 \text{ m}^3/\text{h}$.
- Criterio de funcionamiento del cañón de espuma: capacidad suficiente para que el mayor cañón suministre un caudal de solución espumosa de 3 l/min m^2 a



todo el área que protege, teniendo en cuenta que esta será la mitad del área de la circunferencia de alcance del cañón, ya que la disposición de los mismos solo permite atacar la cubierta en media circunferencia.

Si se supone un alcance de 23,5 metros (semimanga máxima) el área de la circunferencia de alcance es 1.735 m^2 y el caudal requerido $5.205 \text{ l/min} = 312,3 \text{ m}^3/\text{h}$.

Por tanto el caudal del sistema ha de ser $337 \text{ m}^3/\text{h}$, el cual debe poder ser suministrado según el reglamento durante 20 minutos ya que el buque cuenta con un sistema de generación de gas inerte.

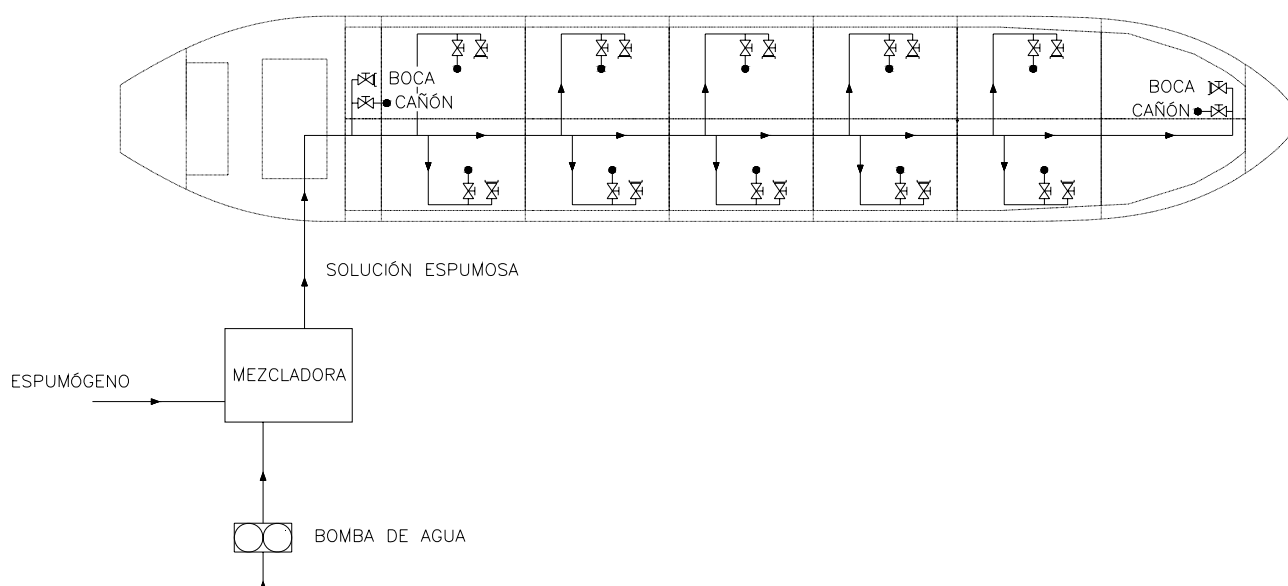
En la producción de espuma de baja expansión la relación de expansión es de alrededor de 1:20 por lo que para un caudal de espuma de $336,9 \text{ m}^3/\text{h}$ se requiere un caudal de solución espumosa de $16,9 \text{ m}^3/\text{h}$ que está compuesta por:

- 5% de líquido espumógeno ($0,9 \text{ m}^3/\text{h}$)
- 95 % de agua de mar ($336 \text{ m}^3/\text{h}$)

La potencia del sistema básicamente viene determinada por el consumo de la bomba de agua, la cual debe aportar un salto de presión de 20 m.c.a.; Su potencia eléctrica máxima es:

$$P = \frac{337}{3.600} \cdot 20 \cdot 9,81 \cdot 1.000}{0,6} = 30,61 \text{ kW}$$

El sistema se dispone como se muestra en la siguiente imagen:





3.4.5 Extintores portátiles de incendios

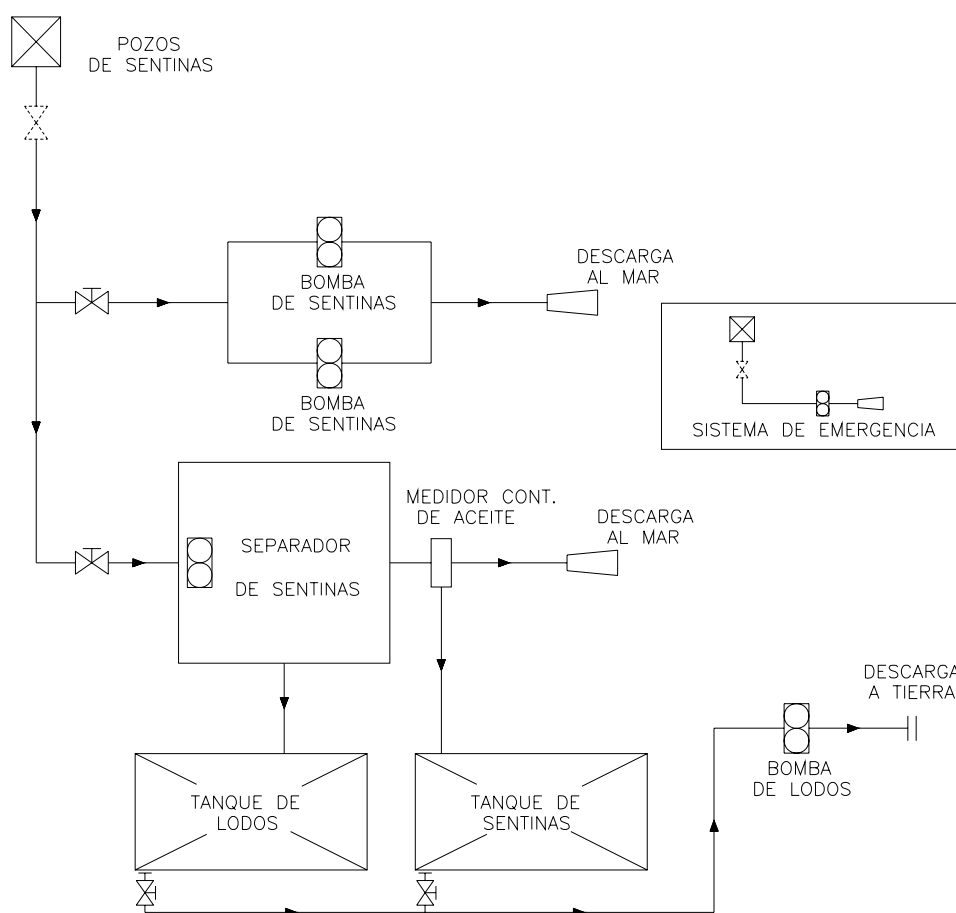
Estos equipos contienen en su interior un agente extintor que debe ser susceptible de ser expulsado y dirigido hacia un fuego mediante presión interna. Su peso total no debe ser superior a 23 kilos para poder ser transportado y operado a mano.

Estos equipos siempre se colocan en posición vertical sujetos a la estructura por soportes y sujeciones de fácil manipulación con la parte superior del extintor a una altura menor de 1,70 metros y la parte inferior a más de 0,10 de la cubierta donde esté dispuesto.

Se disponen dos extintores para cada cubierta de habitación, uno por cada local de la superestructura del guardacalor y la chimenea y cuatro en cada plataforma de la cámara de máquinas lo que hace un total de 36 extintores (disponiendo de otros tantos en el almacén como respeto). Se procurará disponerlos cerca de las entradas a los espacios.

3.5 Servicio de sentinas

Este sistema fue descrito en el punto 7.10.2 del cuaderno 7 de proyecto, un esquema del mismo es el siguiente:



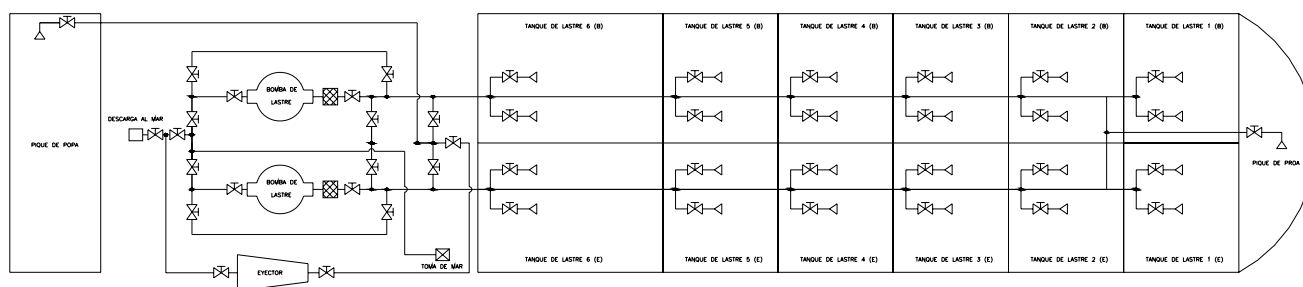


Las características de sus principales elementos son:

Diámetro colector de sentinas	260 mm
Capacidad de las bombas de sentinas	45,0 m ³ /h
Potencia de las bombas de sentinas	7,15 kW
Capacidad de la bomba de lodos	13,1 m ³ /h
Potencia de las bomba de lodos	15,77 kW
Potencia separador de sentinas	12,00 kW
Potencia del sistema de emergencia	10,00 kW
Capacidad del tanque de lodos	41,9 m ³
Capacidad del tanque de sentinas	41,9 m ³

3.6 Servicio de lastre

Este sistema se ha definido en el punto 7.4 del Cuaderno 7 (cámara de máquinas). El esquema del sistema de manejo de lastre es el siguiente:



3.7 Servicios de acceso a los espacios cerrados

3.7.1 Acceso a las superestructuras

Bloque de habilitación

A cada una de las cubiertas en las que se divide el bloque de habilitación (5 en total) se accede mediante al menos dos puertas dobles situadas en los costados, además las cubiertas están comunicadas entre sí por escalas inclinadas un ángulo de 50°, con una altura entre peldaños de 250 mm y una anchura de pisadera de 220 mm.

Además de estos accesos, la cubierta superior de la superestructura de habilitación tiene una serie de locales que tienen acceso directo mediante puertas estancas desde la cubierta principal del buque, estos locales son:



- Taller de cubierta
- Pañol central
- Pañol de cubierta
- Pañol de pintura

Bloque del guardacalor y chimenea

Esta superestructura se divide en dos cubiertas, la inferior que se corresponde con la cubierta principal del buque y la superior situada a 3,92 metros por encima de ésta última.

El acceso a la cubierta superior se hace desde la cubierta principal del buque mediante dos escaleras de las mismas características que las escaleras exteriores del bloque de habilitación.

En la cubierta inferior cada uno de los locales en los que se divide esta superestructura tiene acceso directo mediante puertas estancas desde la cubierta principal del buque.

Ambas superestructuras están comunicadas por una pasarela que conecta la cubierta superior de la superestructura de la chimenea con la cubierta B del bloque de habilitación (situada a 29,7 metros de la línea de base).

3.7.2 Acceso a los locales bajo la cubierta principal

Cámara de máquinas

La cámara de máquinas tiene varios accesos desde la cubierta principal del buque:

- Acceso por escalera vertical desde la superestructura de la chimenea y el guardacalor.
- Acceso desde el taller de cubierta (superestructura de habilitación) mediante una escalera situada dentro del taller de cubierta.
- Escotillas en la cubierta principal situadas entre las superestructuras de habilitación y del guardacalor y chimenea con unas medidas de 4,75 x 3,00 metros.
- Escaleras de acceso desde la cubierta principal (una a cada costado).

Por otro lado, las distintas plataformas de la cámara de máquinas están comunicadas por dos escaleras situadas simétricamente con respecto a crujía, una a cada costado y por un montacargas en el costado de babor.

Cámara de bombas

La cámara de bombas tiene un acceso desde la cubierta superior mediante una escalera con las mismas características que las que tienen las de la superestructura de habilitación.

La entrada a la escalera de acceso desde la cubierta principal está situada a proa de la superestructura de habilitación.



Local del servo

A este local se accede a través de una puerta que lo comunica con la tercera plataforma de cámara de máquinas.

3.7.3 Escala del práctico

Cuando no sea necesario trepar menos de 1,5 metros ni más de 9 metros desde la superficie del mar, se tendrá que utilizar la escala del práctico, la cual se encuentra fijada a resguardo de no interferir en ninguna operación, con los peldaños firmemente asentados al costado del buque.

Cuando el desnivel entre el mar y el punto de acceso sea superior a 9 metros, se empleará una escala real en combinación con la escala del práctico y se emplazará orientada hacia popa. Además también se contará con un elevador mecánico colocado en las inmediaciones de la escala.

3.7.4 Acceso a los espacios de la zona de carga

Tal y como prescribe el SOLAS (capítulo II-1, regla 3-6), todo espacio dispondrá de medios de acceso que permitan inspecciones y mantenimiento de los distintos espacios.

En cuanto a los tanques de carga, cofferdams, tanques de lastre y otros espacios de la zona de carga, el acceso debe ser directo desde la cubierta expuesta y respecto a los espacios del doble fondo y los tanques de lastre de proa, el acceso podrá darse desde la cámara de bombas, un cofferdam, un túnel de tuberías, un espacio del doble casco o compartimentos similares no destinados al transporte de hidrocarburos o cargas potencialmente peligrosas.

Según las reglas de la sociedad de clasificación (Parte 3; capítulo 11 – Regla 1.1), las escotillas en la cubierta de la zona de carga que dan acceso a los tanques de carga y espacios adyacentes serán de acero y con juntas que las hagan estancas. Para el caso de tapas de escotilla en cubiertas intermedias, serán también de acero, pero no necesariamente estancas, a no ser que den acceso a tanques de lastre.

Los accesos a través de aberturas, escotillas o registros horizontales tendrán dimensiones suficientes para que una persona provista de un aparato respiratorio autónomo y de equipo protector pueda subir o bajar por cualquier escala sin impedimento alguno, y también un hueco libre que permita izar fácilmente a una persona lesionada desde el fondo del espacio de que se trate. El hueco libre será como mínimo de 600 x 600 mm, para el caso del buque proyecto se han dispuesto dobles accesos circulares en la cubierta principal de 1500 mm de diámetro, tanto en los tanques de carga como en los tanques de lastre de la zona de carga por lo que se cumple sobradamente con el anterior criterio.

En los accesos a través de aberturas o registros verticales en mamparos de balance, varengas, vagras y bulárcamas que permitan atravesar el espacio a lo largo y a lo ancho, el hueco libre será como mínimo de 600 x 800 mm, y estará a una altura de la chapa del forro del fondo que no exceda de 600 mm, a menos que se hayan provisto rejillas o apoyapiés de otro tipo.



3.7.5 Grúas

Grúas de provisiones

Se instalan dos grúas electrohidráulicas giratorias en ambos costados, estas grúas tienen una capacidad de 5 toneladas y un alcance de 4 metros sobre la manga del buque, su velocidad de izado es de 10 m/min (0,167 m/s). Su potencia nominal eléctrica considerando un rendimiento total de la instalación de 0,8 es:

$$P = \frac{5 \cdot 0,167 \cdot 9,8}{0,8} = 10,23 \text{ kW}$$

Además se disponen en la zona de carga/descarga de los manifolds de la cubierta principal dos grúas para el manejo de las mangueras de la terminal (descritas en el punto 4.1 de este documento).

3.8 Sistemas de salvamento

Para la definición de los medios de salvamento del buque, se va a seguir lo establecido en el Capítulo III de SOLAS.

Los sistemas de salvamento se dividen en dos grupos:

- Dispositivos individuales de salvamento
- Embarcaciones de supervivencia

En los siguientes puntos se definirá el número y capacidad de cada uno de los sistemas de salvamento del buque proyecto.

3.8.1 Dispositivos individuales de salvamento

Aros salvavidas

Se utilizan en las operaciones de hombre al agua para permitir recuperar a la persona y que se mantenga a flote. Deben ser de un material con flotabilidad intrínseca como corcho o poliuretano expandido (no se admite el uso de virutas ni cámaras de aire).

Su peso debe estar entre 2,5 y 4 kg (si es de suelta automática), con formas redondeadas, 800 mm de diámetro exterior y 400 mm de diámetro interno. Estos aros pueden llevar los siguientes elementos auxiliares:

- Guirnalda de salvamento: con un diámetro de 9,5 mm y una longitud de cuatro veces su diámetro externo, debe estar sujeta al aro por cuatro puntos.
- Señal luminosa: es flotante con encendido automático, una intensidad de 2 candelas y duración de 2 horas, con dispositivo de destellos.
- Señal fumígena: de 15 minutos de duración.
- Rabiza flotante: con un diámetro de 8 mm, una resistencia de 5 kN y una longitud mínima de dos veces su altura de estiba con un mínimo de 30 metros.



- Material reflectante: bandas de 5 cm de anchura equidistantes y cubriendo todo el perímetro del aro.

Por tratarse de un buque de carga de más de 200 metros de eslora, debe llevar a bordo un mínimo de 14 aros con las siguientes características:

- Cuatro de ellos (dos a cada banda) con rabiza flotante
- Siete con artefacto luminoso
- Tres con señales fumígenas con dispositivos de suelta rápida desde el puente de navegación

Todos ellos distribuidos uniformemente a lo largo de la eslora del buque.



Chalecos salvavidas

Dispositivos de uso individual que no necesitan participación activa de la persona para cumplir su misión, pueden ser rígidos o inflables y deben cumplir con los siguientes requerimientos:

- Tras 24 horas de inmersión no pierde más del 5% de su flotabilidad.
- Mantener la boca de la persona 120 mm por encima del agua entre 20° y 50° a la vertical
- Dar la vuelta en 2 segundos a una persona.
- Soportar una caída desde 4,5 metros.
- No arder ni fundirse después de estar envuelto en llamas durante 2 segundos.
- Debe permitir ponérselo en menos de 1 minuto.
- Debe permitir poder nadar unos metros y subir en una balsa.
- Incluye los siguientes elementos: Silbato, señal luminosa, señal fumígena, material reflectante (400 cm²).

Se dispondrá al menos un chaleco salvavidas por persona a bordo los cuales se sitúan en las proximidades de las embarcaciones de supervivencia, así como en el puente y en cámara de máquinas, de modo que sean fácilmente accesibles y con su ubicación claramente indicada en cada lugar.



3.8.2 Embarcaciones de supervivencia

Según lo establecido en SOLAS los sistemas de salvamento deben permitir que el buque pueda abandonarse en 10 minutos desde la señal de abandono del buque; El reglamento para los buques de carga ofrece distintas opciones para definir el número y disposición de las distintas embarcaciones de supervivencia, se ha elegido la siguiente opción:

- Bote de caída libre por popa con capacidad para el 100 % del total de las personas a bordo (40 personas).
- Balsas salvavidas a cada banda para el 100 % del total de las personas a bordo, por lo que se disponen a cada banda en la zona de la superestructura 4 balsas (2 en cada banda) con capacidad unitaria de 20 personas.
- Un bote de rescate dispuesto a popa, en el costado de babor.

En los siguientes puntos se describe brevemente cada una de estas embarcaciones de supervivencia:

Bote de caída libre

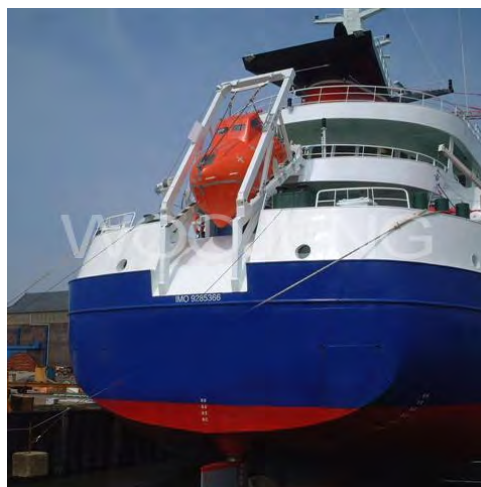
Bote salvavidas que se pone a flote mediante lanzamiento una vez que la dotación está a bordo, se encuentra estibado en la popa del buque y tiene acceso mediante una rampa desde la cubierta superior de la superestructura de la chimenea y el guardacalor. Este bote debe cumplir con todos los requerimientos establecidos para un bote salvavidas estándar, presenta además las siguientes particularidades:

- Proa con líneas afinadas para disminuir en lo posible el choque con la superficie del mar.
- La hélice y el timón deben estar especialmente protegidas contra el impacto al lanzarse al agua.
- Se permite que disponga de un solo acceso por popa, ya que al estibarse inclinado los accesos laterales no son adecuados para el embarque de la dotación.
- Los asientos deben ser especiales con protección lateral de cabeza, tronco y muslos, equipados con cinturón y con una cierta inclinación. Sus dimensiones mínimas serán: Largo del respaldo 1.000 mm y ancho del asiento 430 mm.



- Los asientos se disponen de tal forma que haya una distancia mínima de 635 mm entre los respaldos de dos asientos consecutivos.
- La puesta a flote se podrá realizar con un asiento del buque de 10° y una escora de 20°.
- Al tratarse de un buque petrolero con punto de inflamación <60 °C, este bote debe disponer de sistema contra incendios, el cual se basa en una protección con aspersores tomando el agua del mar a través de una bomba accionada por el motor propulsor.

Las siguientes imágenes muestran este tipo de botes y su disposición típica en los buques:



Balsa salvavidas

La función de estos dispositivos es proteger a las personas del frío, del calor y de estar sumergidas, no disponen de propulsión ni de gobierno. Son de tipo inflable de forma circular y de material flexible (caucho o goma).

Cada balsa dispone de dos cámaras de flotabilidad independientes, cada una capaz de mantener un francobordo positivo de todo el perímetro de la balsa con la dotación y el equipo a bordo.



Se disponen en cada balsa de dos accesos diametralmente opuestos con sus respectivos medios de cierre que aíslan del frío, el calor y de los rociones de agua, además cada uno de estos accesos dispone de medios adecuados para poder embarcar desde el agua.

Las balsas se inflan mediante un gas inyectado en todos aquellos elementos susceptibles de ser inflados (cámaras de flotabilidad, piso y arcos de la capota). El sistema debe cumplir unas condiciones mínimas de funcionamiento en cualquier condición ambiental.

Estas balsas deben cumplir con los requerimientos de SOLAS, su puesta a flote se hace por lanzamiento y van estibadas en una caja cilíndrica estanca con flotabilidad intrínseca cuando contiene la balsa y el equipo asociado. Seguidamente se muestran algunas fotografías de esta clase de dispositivos:



Bote de rescate

Bote auxiliar con propulsor y gobierno, siempre operativo y capaz de realizar las siguientes operaciones:

- Rescate de hombre al agua
- Remolcar balsas – durante las operaciones de abandono del buque o rescatar balsa a la deriva.
- Agrupar balsas – durante las operaciones de abandono del buque.

Será de tipo rígido con una eslora de 8,5 metros, una velocidad en navegación superior a 6 nudos, autonomía para 4 horas y con capacidad para 5 personas + 1 tumbada.

El bote estará estibado de modo que esté siempre listo para ponerlo a flote en un máximo de 5 minutos y en un emplazamiento adecuado para su puesta a flote y recuperación, en el caso del buque proyecto se dispone a popa del buque y en el costado de babor, la puesta a flote se hace mediante pescante.



El equipo que se debe llevar a bordo de cada una de estas embarcaciones de supervivencia se resume en la siguiente tabla:

Elemento	Balsa	Bote	Rescate
Abrelatas	3	3	
Achicador flotante	2	1	1
Ancla flotante	2	1	1
Aro flotante	1	2	2
Ayuda térmica	10% pasaje	10% pasaje	10% pasaje
Baldes		2	
Bengala de mano	6	6	
Bichero		2	1
Bomba para completar inflado	1		
Botiquín primeros auxilios	1	1	1
Boza		2	1
Cabo para remolcar			1



Elemento	Balsa	Bote	Rescate
Cohete lanzabengala con paracaídas	4	4	
Compás		1	1
Cuchillo	1		
Ejemplar de señales de salvamento	1	1	
Equipo portátil de extinción de incendios		1	1
Equipo reparador de pinchazos	1		
Espejo de señales diurnas	1	1	
Espanja	2		2
Hachuelas		2	
Instrucciones de supervivencia	1	1	
Juego de aparejos de pesca	1	1	
Linterna eléctrica	1	1	1
Navaja		1	1
Proyector		1	1
Raciones de alimentos	1 x persona	1 x persona	
Recipiente estanco de agua potable	1,5 l x pers.	3 l x pers	
Reflector de radar	1	1	1
Remo flotante	2		2
Señal fumígena flotante	2	2	
Silbato	1	1	1
Tijeras	1	1	
Vaso graduado de acero inoxidable	1	1	

3.8.3 Otros dispositivos

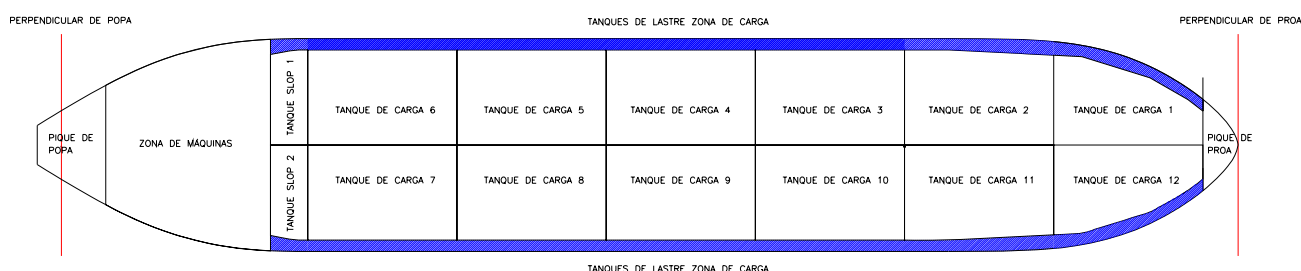
El capítulo III del SOLAS también prescribe otros dispositivos a disponer a bordo del buque:

- Tres aparatos radiotelefónicos bidireccionales de ondas métricas y uno más en una de las embarcaciones de supervivencia.
- Un respondedor de radar en cada banda.
- 12 cohetes lanzabengalas estibados en las proximidades del puente de navegación.
- Un sistema de emergencia constituido por un equipo fijo y otro portátil para comunicaciones bidireccionales entre puestos de control de emergencia, puestos de reunión y de embarco y puntos estratégicos a bordo.
- Un sistema de alarma general de emergencia que se usará para convocar a los tripulantes a los puestos de reunión para iniciar las operaciones de evacuación, que constará básicamente de un sistema megafónico.



4 SERVICIOS DE LA CARGA

El buque proyecto dispone de una capacidad de carga de 170.900 m³ distribuida en 12 tanques de carga + 2 tanques slop cuya distribución a lo largo del buque se muestra en la siguiente figura:



El buque dispone de bitas con sus panamás correspondientes a ± 35 metros del manifold para realizar operaciones de alije.

Para el manejo de la carga el buque ha de disponer de los siguientes equipos y sistemas:

4.1 Grúas de mangueras

Se instalan dos grúas en la cubierta principal, en la zona de los manifolds con un alcance de 17 metros. Estas grúas deben cumplir con los requerimientos (OCIMF Y EXXON) y se utilizan para el manejo de las mangueras que se conectan al buque en las operaciones de carga y descarga del crudo.

La capacidad de estas grúas se fija en 15 toneladas con una velocidad cargadas de 15 m/min y de 25 m/min cuando están descargadas. Suponiendo un rendimiento de la instalación electrohidráulica de 0,75, la potencia nominal de cada una de ellas es:

$$P = \frac{F \cdot v}{\eta} = \frac{15.000 \cdot 9,81 \cdot \frac{15}{60}}{0,8} = 35,98 \text{ kW}$$

4.2 Sistema de gas inerte

El convenio SOLAS en su Capítulo II-2; Parte B; Reglamento 4 establece lo siguiente:



5.5 Inert gas systems

5.5.1 Application

5.5.1.1 For tankers of 20,000 tonnes deadweight and upwards, the protection of the cargo tanks shall be achieved by a fixed inert gas system in accordance with the requirements of the Fire Safety Systems Code, except that, in lieu of the above, the Administration, after having given consideration to the ship's arrangement and equipment, may accept other fixed installations if they afford protection equivalent to the above, in accordance with regulation I/5. The requirements for alternative fixed installations shall comply with the requirements in paragraph 5.5.4.

Por lo que es necesario disponer en un buque de estas características de un sistema de inertización con gas que mantenga la atmósfera interna de los tanques de carga con un contenido de oxígeno inferior al 2 %.

Estos sistemas básicamente consisten en una red de tuberías, válvulas y ventiladores que hacen llegar el gas inerte a los tanques en la cantidad y presión requerida. El código que debe cumplir el sistema establece que debe poder suministrar un volumen de gas equivalente al 125 % de la capacidad de todas las bodegas de carga que estén operando simultáneamente.

Además debe poder generar un volumen de gas libre por hora de al menos el 25 % del volumen total del mayor espacio protegido por este método, que para este buque son los tanques de la zona central de carga con un volumen total de 14.665 m³. Por tanto volumen de gas libre que debe poder generar en ese tiempo son 18.331 m³.

El gas inerte se obtiene de dos fuentes distintas:

- Gases de escape de las calderas
- Generador autónomo de gas inerte

Los gases generados por ambos sistemas se someten a un tratamiento de enfriado y lavado con agua salada en una torre de lavado. En él el gas inerte se hace pasar a través de películas de agua y filtros separadores.

La sociedad de clasificación también impone requisitos en el dimensionamiento de este sistema (Parte 5, Capítulo 15, Sección 7):

7.2.4 The system is to be capable of delivering inert gas to the cargo tanks at a rate of at least 125 per cent of the maximum rate of discharge capacity of the ship expressed as a volume.

Para el dimensionamiento de la capacidad de los ventiladores del sistema se tomará este último criterio puesto que es el más exigente de todos. La máxima capacidad de descarga del buque es 3 x 3.500 m³/h, por lo que la capacidad total que deben tener los ventiladores del sistema es:



$$Q_{Vent} = 1,25 \cdot 3 \times 3.500 = 13.125 \frac{m^3}{h}$$

Por lo que se disponen dos ventiladores de 13.500 m³/h puesto que deben tener cada uno la capacidad total del sistema, la potencia eléctrica de estos dispositivos suponiendo un salto de presión de 65 mm.c.a. se estima en:

$$P(kW) = 0,2 \cdot \frac{Q \cdot \Delta p}{\eta} = 0,2 \cdot \frac{13.125}{3.600} \cdot \frac{0,065 \cdot 9,8 \cdot 1.000}{0,7} = 3,87 \text{ kW}$$

Y el consumo de agua salada es de $0,015 \cdot 13.125 = 197 \text{ m}^3/\text{h}$ lo que equivale a un consumo eléctrico de las bombas suponiendo un salto de presión de 4 bar y un rendimiento de 0,6 de:

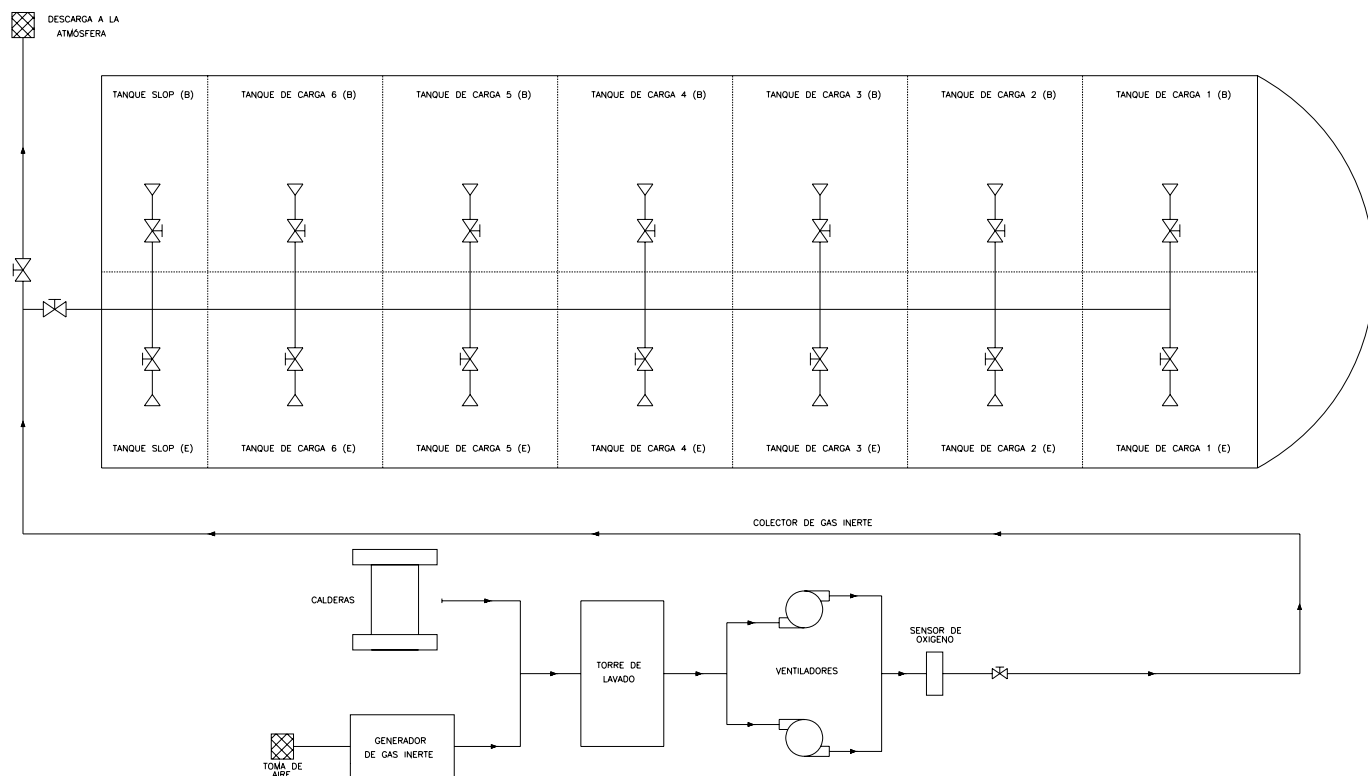
$$P = \frac{Q \cdot \Delta p}{\eta} = \frac{197}{3.600} \cdot \frac{400.000}{0,60} = 36,48 \text{ kW}$$

El generador autónomo de gas inerte se dimensiona con una capacidad de 6.000 m³/h. Este equipo consume fuel y electricidad con una potencia eléctrica aproximada de **20,00 kW** trabajando a su máxima capacidad que es en la operación de descarga del buque.

La potencia eléctrica total consumida por este sistema es por tanto:

$$P = 3,87 + 36,48 + 20,00 = 60,35 \text{ kW}$$

Un esquema de la instalación es el siguiente:





4.3 Sistema de descarga

Para la descarga del crudo el buque dispone de los siguientes elementos, los cuales han sido impuestos en la especificación del proyecto.

Turbobombas de descarga

Se requiere por especificación dotar al buque proyecto de 3 turbobombas de 3.500 m³/h a 140 m.c.a.; estas bombas se utilizarán para:

- Descarga de los tanques de crudo
- Limpieza de tanques
- Suministrar caudal a los eyectores para el agotamiento de tanques

Suponiendo un rendimiento de 0,6 la potencia unitaria de cada una de estas bombas es:

$$P = \frac{Q \cdot \Delta p}{\eta} = \frac{\frac{3.500}{3.600} \cdot 140 \cdot 9,81 \cdot 1000}{0,60} = 2.225,4 \text{ kW}$$

Suponiendo que las bombas están movidas por turbinas de vapor tipo “Curtis” con un rendimiento de 0,85, la potencia total necesaria para cada bomba es de **2.618,1 kW**. El consumo específico en kilogramos de vapor de esta clase de dispositivos puede tomarse como 8 kg_v/kW h, por tanto el consumo de vapor de cada bomba funcionando a su máxima capacidad es:

$$Q_{MV} = 8 \cdot 2.618,1 = 20.945,1 \frac{\text{kg}_v}{\text{h}}$$

El tiempo de descarga del buque puede estimarse fácilmente suponiendo un funcionamiento continuo de las bombas de descarga a la máxima potencia:

$$t_{\text{Descarga}} = \frac{V_{\text{Carga}}}{Q_{\text{Bombas}}} = \frac{170.900}{3 \cdot 3500} = 16,3 \text{ horas}$$

Eyectores

Como se ha dicho anteriormente se instalarán eyectores para el agotamiento de los tanques de crudo en las operaciones de descarga. Su número y capacidad están impuestos en la especificación: “2 eyectores de 700 m³/h”.

Bomba de agotamiento

El requisito para esta bomba es que tenga un caudal de 300 m³/h a 140 m.c.a.; como en anteriores ocasiones al suponer un rendimiento total de la bomba de 0,60 la potencia que consume funcionando a su máxima capacidad es:

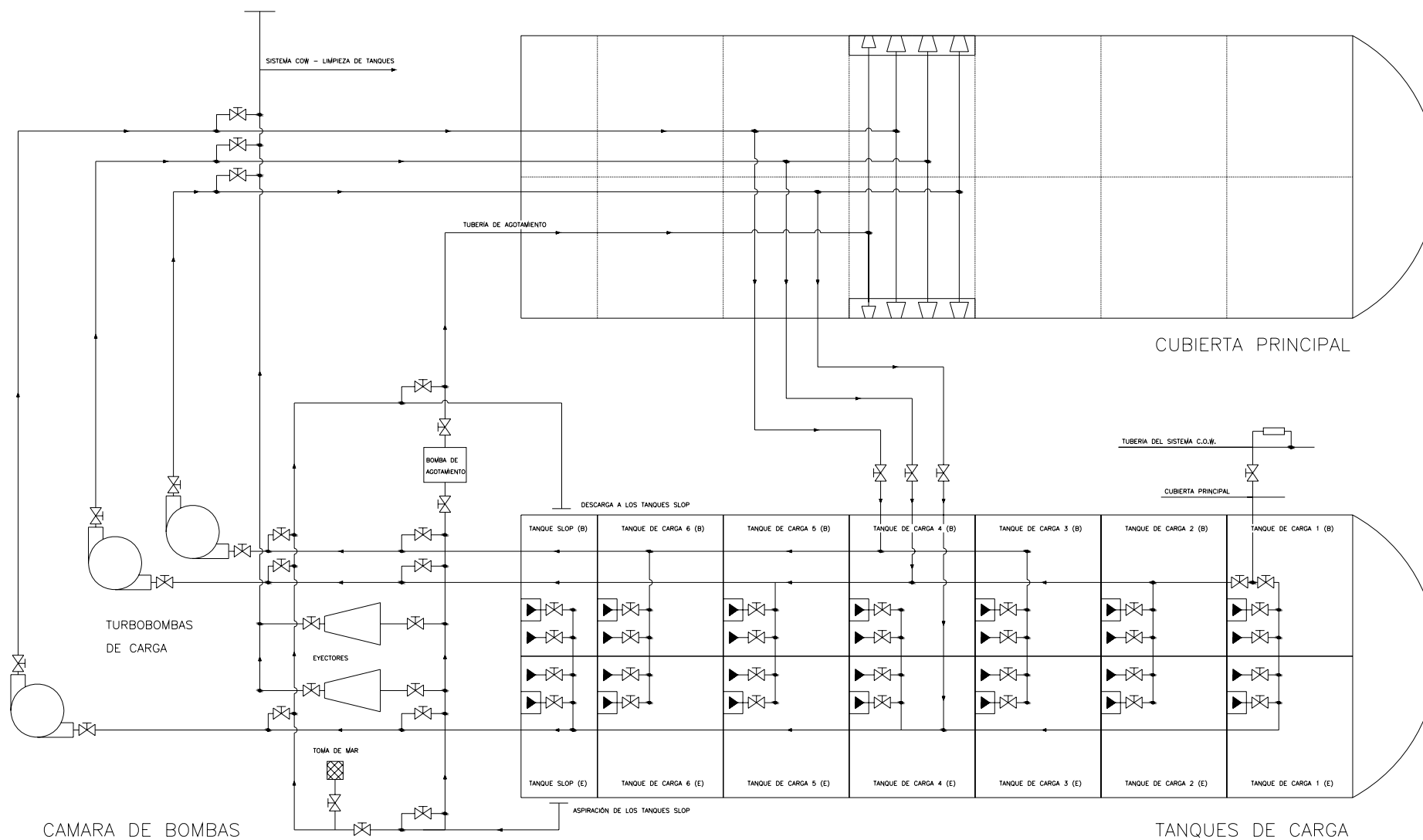


$$P = \frac{Q \cdot \Delta p}{\eta} = \frac{\frac{300}{3.600} \cdot 140 \cdot 9,81 \cdot 1.000}{0,60} = 190,75 \text{ kW}$$

Suponiendo, al igual que para las bombas de descarga que las bombas están movidas por turbinas de vapor tipo "Curtis", la potencia total necesaria es de **224,45 kW**. El consumo específico en kilogramos de vapor es:

$$Q_{MV} = 8 \cdot 224,45 = 1.795,6 \frac{\text{kg}_v}{\text{h}}$$

El esquema del sistema de carga se presenta a continuación:





4.4 Sistema para limpieza de tanques

Según queda establecido por la Regla 33 del Anexo I de MARPOL *“Todo petrolero para crudo de peso muerto igual o superior a 20.000 toneladas, entregado después del 1 de junio de 1982, estará provisto de un sistema de lavado con crudo para los tanques de carga.”*

Sistema de lavado de tanques con crudo (COW)

El sistema es utilizado para conseguir un mayor porcentaje de descarga en las operaciones de este tipo, puesto que los componentes mas pesados de la mezcla que compone el crudo se van quedando en el fondo y estructura interna del tanque que, de no retirarse se acumularían y podrían causar una reducción significativa de la capacidad del tanque e incluso impedir la descarga.

El principio operacional del sistema es el siguiente: El buque parte de la terminal de descarga en situación de lastre. En una fase determinada de la travesía, se realiza la limpieza de tanques con crudo, que posee un poder disolvente superior al antiguamente utilizado a base de agua caliente. Las máquinas para lavado con crudo, que van fijas en el interior de los tanques de carga, deberán cubrir con su acción el total de la superficie interna de los tanques.

La mezcla de crudo y residuos se bombea a través de los eyectores o bomba de agotamiento a los tanques de decantación (slop) que, en este caso concreto, hacen de tanques almacén de residuos. La mezcla resultante se completa con crudo en la terminal de carga y se descarga en la refinería.

Los tanques de carga que hubiese que rellenar con agua salada en caso de condiciones adversas de la navegación, habrán de haber sido limpiados previamente con crudo, por lo que estas situaciones habrán de ser previstas por el capitán del buque.

El sistema consta de una línea paralela a las de carga que va por cubierta, de la que salen varios ramales que abastecen las máquinas de lavado de todos los tanques.

Sistema de lavado de tanques con agua salada

El lavado con agua de mar es aún requerido para permitir que los tanques esten libres de gases antes de ser inspeccionados o reparados. El agua se calienta mediante un calentador para elevar su temperatura hasta los 80 °C mediante vapor suministrado por las calderas.

Para ello se disponen conexiones desde las tomas de mar para que las bombas de carga puedan suministrar el agua salada a las máquinas de lavado de tanques. El agua de lavado se retira de los tanques de carga y se descarga a los tanques slop por eyectores o bombas de agotamiento.



4.5 Sistema de calefacción de la carga

La calefacción de la carga se hace a través del vapor generado en la caldera de gases de escape y en las calderas principales. La presión de trabajo de la planta de vapor del buque se ha fijado en 7 kgf/cm². Para los cálculos siguientes se van a tomar las siguientes propiedades de la carga:

Temperatura de bombeo	50 °C
Densidad	850 kg/m ³
Capacidad calorífica	0,845 kcal/kg °C

El calentamiento se lleva a cabo mediante una red de serpentines distribuidos en el fondo de cada tanque de carga, el funcionamiento del sistema es el siguiente:

La carga se recibe a bordo en la terminal de carga a la temperatura de bombeo y durante el viaje hasta la terminal de descarga se va enfriando poco a poco hasta una temperatura que se estima en 35 °C debido a su gran inercia térmica. Un tiempo antes de que el buque vaya a llegar a la terminal de descarga el crudo comienza a calentarse para que cuando se proceda a su descarga su temperatura sea la de bombeo.

Para los tanques de carga se establece un tiempo de 6 días para llevar a todo el volumen de carga hasta la temperatura de bombeo (50 °C).

La energía a suministrar al volumen de carga cuando se procede a su calentamiento se va a dividir en dos términos, q_1 y q_2 igual que se hizo para los tanques del sistema de combustible (punto 5.1 – cuaderno 7) de modo que:

Energía para elevar la temperatura “ q_1 ”:

$$q_1 = \frac{\rho \cdot V_{\text{carga}} \cdot c_{\text{carga}} \cdot (T_f - T_i)}{t_{\text{calentamiento}}} = \frac{850 \cdot 170.900 \cdot 0,845 \cdot (50 - 35)}{6 \cdot 24} = 12.786.346 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

El caudal de vapor necesario es:

$$Q_{\text{MV}} = \frac{12.786.346}{494,2 \cdot 0,9} = 28.747,6 \frac{\text{kg}_v}{\text{h}}$$

Energía para compensar las pérdidas “ q_2 ”:

$$q_2 = \sum K_i \cdot S_i \cdot (T_T - T_{\text{EXT}})$$

Donde:

- “ K_i ” es el coeficiente de termotransferencia total entre la superficie “i” del tanque y el medio que la rodea.
- “ S_i ” es la superficie a través de la cual se está produciendo la pérdida de calor.
- “ T_T ” es la temperatura media de la carga en el proceso de calentamiento, para este caso se tomará igual a 43 °C



- “T_{EXT}” Es la temperatura exterior del medio a través del cual se está perdiendo calor

Los coeficientes de termotransferencia y las temperaturas de los medios a los que van a estar expuestas las superficies que limitan los tanques son:

	K _i (kcal/h m ² °C)	T _i (°C)
Aire atmosférico	7	0
Tanques de lastre	3	5
Cofferdam	3	5

Para el cálculo de estas pérdidas se supondrá toda la zona de carga como un solo tanque ya que al estar todos ellos a la misma temperatura no se pierde calor a través de los mamparos que subdividen la cántara. Visto de este modo la carga cede calor a los siguientes medios:

- Tanques de lastre (que a plena carga irán prácticamente vacíos) por costados, fondo y proa.
- Atmósfera a través de la cubierta principal
- Cofferdam a través del límite por popa de la zona de carga.

Las superficies de transferencia de calor de los tanques de carga y el calor perdido a través de ellas son:

	Superficie (m ²)	q _{2i} (kcal/h)
Fondo	6.441,2	902.136
Cubierta principal	8.253,5	2.484.304
Costados	9.112,4	1.038.814
Proa	612,5	69.825
Popa	678,2	77.657

Las pérdidas de calor de la carga durante el proceso de calentamiento son por tanto:

$$q_2 = 4.572.736 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

Y el caudal de vapor necesario:

$$Q_{MV} = \frac{4.572.736}{494,2 \cdot 0,9} = 10.280,9 \frac{\text{kg}_v}{\text{h}}$$

El caudal de vapor máximo (en las peores condiciones) total que se necesita para llevar a cabo la operación de calentamiento de la carga es por tanto **39.028,5 kg_v/h**. Este dato se tendrá en cuenta a la hora de realizar el balance de vapor (punto 7.11 del cuaderno 7 de proyecto).



4.6 Sistema de venteo o respiro de los tanques de carga

En este punto se expondrán los requerimientos de SOLAS en lo relativo a su Capítulo II-2 – Prevención, detección y extinción de incendios; Concretamente la Parte D (Regla 59) sobre Respiración, purga, desgaseificación y ventilación.

Este sistema debe ser capaz de controlar el respiro de los tanques de carga, permitiendo la entrada de aire del exterior o la salida de la mezcla del interior de los tanques con la finalidad de controlar la presión interna de los tanques dentro de los límites para los que están diseñados. El sistema estará dividido en dos subsistemas cada uno de ellos para cubrir una condición de operación de los tanques:

- Variaciones térmicas: controla las variaciones de presión por las dilataciones y contracciones de la carga como consecuencia de las variaciones térmicas durante la navegación. En cualquier caso se trata del control de pequeños volúmenes que se liberan o se toman de la atmósfera. Se realiza mediante valvulas de presión/vacio taradas para liberar la mezcla cuando se produce una sobrepresión o permitir la entrada de aire cuando se produzca vacio en el interior de los tanques.
- Operaciones de carga de los tanques: permite la salida de grandes volúmenes de la mezcla a la atmósfera durante el proceso de carga de los tanques para mantener las presiones en el interior dentro de los valores admisibles. Se admite que esta mezcla sea liberada a la atmósfera por descarga libre o descarga a alta velocidad.
Este sistema debe diseñarse para una capacidad mínima del 125% de la capacidad de carga de los tanques a cubrir.

El sistema debe ser independiente de los conductos de aire o venteo de otros compartimentos del buque. Dada la peligrosidad de las descargas a la atmósfera, éstas deberán estar dispuestas a una altura mínima sobre cubierta, y se dispondrá un área circular horizontal de seguridad a su alrededor donde no se podrán disponer equipos o maquinaria ni aberturas o tomas de aire De acuerdo con la siguiente tabla:

	Descarga válvula de presión/vacio	Descarga libre	Descarga de alta velocidad
Altura mínima sobre cubierta de carga (m)	2	6	2
Diámetro del área horizontal de seguridad	5	10	10

Para el buque proyecto se va a escoger la opción descarga libre por ser la menos compleja para la operación de carga/descarga de los tanques.



5 SERVICIOS DE HABILITACIÓN

De acuerdo a la especificación del proyecto, el buque dispone de alojamiento para un total de 36 personas, la zona de habitación se sitúa en una superestructura dispuesta sobre la cubierta principal a popa, esta zona se ha descrito con detalle en el Cuaderno 3 (punto 8.1).

5.1 Compartimentado y elementos principales

Mamparos divisorios, forros y revestimientos

Los mamparos externos de la superestructuras deben ser capaces de soportar los esfuerzos a los que van a estar sometidos, principalmente por la acción del mar y del viento. Las puertas y ventanas no presentarán partes angulosas para evitar la formación de grietas por concentración de esfuerzos.

El convenio SOLAS en su Capítulo II-2 Regla 2.4 establece unos requerimientos mínimos que deben cumplir los mamparos que limitan los distintos espacios del buque en cuanto a resistencia al fuego; Estos requerimientos se resumen en la siguiente tabla:

Espacios	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
Puestos de control (1)	A-0 ^c	A-0	A-60	A-0	A-15	A-60	A-15	A-60	A-60	*
Pasillos (2)		C	B-0	B-0 A-0 ^a	B-0	A-60	A-0	A-60	A-0	*
Espacios de alojamiento (3)			C	B-0 A-0 ^a	B-0	A-60	A-0	A-60	A-0	*
Escaleras (4)				B-0 A-0 ^a	B-0 A-0 ^a	A-60	A-0	A-60	A-0	*
Espacios de servicio (riesgo limitado) (5)					C	A-60	A-0	A-60	A-0	*
Espacios de categoría A para máquinas (6)						*	A-0	A-0 ^d	A-60	*
Otros espacios de máquinas (7)							A-0 ^b	A-0	A-0	*
Cámaras de bombas de carga (8)								*	A-60	*
Espacios de servicio (riesgo elevado) (9)									A-0 ^b	*
Cubiertas expuestas (10)										-

Del mismo modo, se definen unos requerimientos de las cubiertas que separan los distintos espacios:



Espacio ↓ inferior	Espacio → superior	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
Puestos de control	(1)	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0	A-60	A-0	-	A-0	*
Pasillos	(2)	A-0	*	*	A-0	*	A-60	A-0	-	A-0	*
Espacios de alojamiento	(3)	A-60	A-0	*	A-0	*	A-60	A-0	-	A-0	*
Escaleras	(4)	A-0	A-0	A-0	*	A-0	A-60	A-0	-	A-0	*
Espacios de servicio (riesgo limitado)	(5)	A-15	A-0	A-0	A-0	*	A-60	A-0	-	A-0	*
Espacios de categoría A para máquinas	(6)	A-60	A-60	A-60	A-60	A-60	*	A-60 ^c	A-0	A-60	*
Otros espacios de máquinas	(7)	A-15	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0	*	A-0	A-0	*
Cámaras de bombas de carga	(8)	-	-	-	-	-	A-0 ^d	A-0	*	-	*
Espacios de servicio (riesgo elevado)	(9)	A-60	A-0	A-0	A-0	A-0	A-60	A-0	-	A-0 ^b	*
Cubiertas expuestas	(10)	*	*	*	*	*	*	*	*	*	-

Por tanto los mamparos y cubiertas que separan los distintos espacios deben cumplir con lo establecido en las tablas anteriores; Además de ello, deben aislar los distintos espacios tanto térmica como acústicamente cumpliendo unos ciertos requerimientos mínimos.

Por otro lado, los mamparos y techos de la zona de habilitación estarán recubiertos por paneles que permitan que entre mamparo y panel se puedan disponer cables, tuberías, conductos de aire, aislamientos, etc.

Puertas

Las puertas en los distintos espacios tienen la anchura necesaria para cumplir sus funciones con comodidad siendo la anchura normal de 0,8 metros y mayor en los siguientes espacios:

- Gamba seca 1,20 metros (doble hoja)
- Hospital 1,20 metros (doble hoja)

Las puertas de los camarotes, en su parte baja disponen de una rejilla que posibilita el movimiento y la circulación de aire.

Pasillos y escaleras

Todos los pasillos en la zona de habilitación cuentan con una anchura mínima de 1,20 metros, su distribución es tal que puede accederse a todos los locales de cada cubierta directamente desde ellos, cuentan además con pasamanos y fuentes de agua potable.

Además tanto pasillos como escaleras interiores deben estar dotados de flechas e indicaciones con la dirección a seguir en caso de emergencia, así como planos de situación que indiquen la posición dentro del buque en la que se encuentra el tripulante.



Las escaleras internas de la zona de habitación se sitúan en la parte central de cada cubierta, cuentan con material antideslizante en sus pisaderas, la altura entre peldaños es de 197 mm mientras que la pisadera es de 230 mm.

Mobiliario

El tipo de mobiliario es funcional, dentro de cada espacio el diseño será uniforme y estará en consonancia con los lugares que ocupa. Todas las ventanas irán provistas de cortinas u otros medios equivalentes excepto las de la cocina y el puente.

Todos los muebles van afirmados a un mamparo o a la cubierta en la que se encuentran y los elementos que pudiesen ir sueltos (como es el caso de las sillas) necesariamente deben llevar dispositivos de sujeción.

5.2 Climatización: Aire acondicionado y calefacción

El sistema de climatización se ha definido en el punto 7.9.1 del cuaderno 7 de proyecto.

5.3 Cámaras refrigeradas (gambuzas)

Este equipo se ha definido en el punto 7.9.2 del cuaderno 7 de proyecto.

5.4 Agua potable

Los equipos de agua potable se han definido en los puntos 7.5 y 7.9.3 del cuaderno 7 de proyecto.

5.5 Agua caliente

Los equipos que integran el sistema de agua caliente de habitación se han definido en el punto 7.9.4 del cuaderno 7 de proyecto.



6 SERVICIOS DE NAVEGACIÓN Y COMUNICACIONES

6.1 Equipo de ayuda a la navegación

Este equipo queda regulado por el capítulo V de SOLAS, que establece la obligatoriedad de disponer a bordo de los siguientes elementos y equipos:

- Un compás magistral magnético debidamente compensado para determinar el rumbo del buque y presentar los datos visualmente en el puesto principal de gobierno. También contará con uno de respeto intercambiable con este.
- Dos girocompases para determinar y presentar visualmente su rumbo por medios no magnéticos que el timonel pueda leer claramente desde el puesto de gobierno principal.
- Un repetidor del rumbo indicado por el girocompás para facilitar visualmente información sobre el rumbo en el puesto de gobierno de emergencia.
- Un taxímetro, que es un dispositivo para leer demoras en un arco del horizonte de 360 °.
- Un repetidor de las demoras indicadas por el girocompás para obtener demoras en un arco de horizonte de 360°, utilizando el girocompás.
- Un medio para corregir y obtener el rumbo y la demora verdaderos.
- Un sistema de control del rumbo o de la derrota para regular y mantener automáticamente el rumbo o una derrota recta.
- Un indicador de la velocidad de giro para determinarla y presentarla visualmente.
- Un sistema de información y visualización de cartas electrónicas (SIVCE) que satisfaga las prescripciones relativas a la obligación de llevar cartas náuticas.
- Un receptor para el sistema mundial de navegación por satélite y un sistema de radionavegación terrenal para determinar y actualizar en todo momento la situación con medios automáticos durante el viaje previsto.
- Un radar de 3 GHz, y un segundo radar de 9 GHz, para determinar y presentar visualmente la distancia y la demora de otras embarcaciones y obstrucciones de superficie y de boyas, litorales y marcas de navegación que ayudan a la navegación en general y a evitar abordajes.
- Un radar de puerto.
- Una ayuda de punteo radar automática para trazar automáticamente la distancia y la demora de otros 20 blancos como mínimo, que esté conectada a un indicador de velocidad y distancia en el agua, a fin de determinar el riesgo de abordaje y simular una maniobra de prueba.
- Una ecosonda para medir y presentar visualmente la profundidad del agua.
- Un dispositivo medidor de la velocidad y la distancia para indicar la velocidad y la distancia con respecto al fondo en dirección de proa y en dirección transversal.
- Indicadores de la situación del timón, la hélice, el empuje, el paso y otras modalidades de funcionamiento para determinar y presentar visualmente el ángulo de metida del timón, la rotación de las hélices, la potencia y dirección del empuje, la potencia y dirección del empuje lateral y el paso y la modalidad de funcionamiento, de manera que todos ellos sean legibles desde el puesto de órdenes de maniobra.



- Una ayuda de seguimiento automático para trazar automáticamente la distancia y la demora de otros blancos a fin de determinar el riesgo de abordaje.
- Un teléfono para comunicar información sobre la derrota al puesto de gobierno de emergencia.
- Una lámpara de señales diurnas u otro medio para comunicarse mediante señales luminosas durante el día y la noche que utilice una fuente de energía eléctrica que no dependa únicamente del suministro eléctrico del buque.

Además, en los buques construidos a partir de diciembre de 2008 se debe instalar un sistema de transmisión automática de datos que forme parte del sistema de identificación y seguimiento de largo alcance de buques. Los datos a transmitir serán el nombre del buque, su situación (latitud y longitud) y la fecha y hora de la información facilitada. Para facilitar las investigaciones sobre siniestros, en los buques que efectúen viajes internacionales, se instalará un registrador de datos de travesía (RDT).

La potencia eléctrica de todos estos equipos, por comparación con otros proyectos se estima en **10,00 kW**.

6.2 Comunicaciones externas

El capítulo IV del SOLAS especifica el equipo necesario para las radiocomunicaciones de un buque de estas características, este equipo se enumera a continuación.

- Una instalación radioeléctrica de ondas métricas que pueda transmitir y recibir mediante LSD (frecuencia 156,525 MHz. – canal 70) y mediante radiotelefonía (156,3 MHz, 156,65 MHz y 156,8 MHz – canales 6, 13 y 16 respectivamente). En combinación con ella, tendremos otra que mantenga escucha continua de LSD en el canal 70.
- Un respondedor de radar que funcione en la banda de 9 GHz, el cual, a su vez será el prescrito para la embarcación de supervivencia mencionado anteriormente.
- Un receptor para las transmisiones del servicio NAVTEX internacional, que es una coordinación de transmisión y recepción automática en 518 kHz de información sobre seguridad marítima mediante telegrafía de impresión directa de banda estrecha utilizando el idioma inglés.
- Una radiobaliza de localización de siniestros por satélite.
- Un equipo que permita mantener un servicio de escucha de LSD (llamada selectiva digital) en las frecuencias de 2187,5 KHz, 8414,5 KHz y por lo menos en una de las frecuencias de socorro y seguridad de LSD de 4207,5 KHz, 6312 KHz, 12577 KHz ó 16804,5 KHz; pudiendo elegir en cualquier momento cualquiera de ellas.
- Medios para iniciar la transmisión de alertas de socorro a buques costeros mediante un servicio de radiocomunicaciones que no sea el de ondas decamétricas y que trabaje a través del sistema de satélites de órbita polar de 406 MHz. y del servicio de satélites geoestacionarios de Inmarsat.

La potencia de todo el equipo, por comparación con otros proyectos se estima en **6,00 kW**.



6.3 Comunicaciones internas

El equipo de comunicaciones interiores estará formado por los siguientes elementos:

- Un telégrafo de órdenes en puente y cámara de máquinas
- Un sistema de interfonos de cubierta con unidades en el puente y las zonas de fondeo y amarre de proa y de popa.
- Un sistema de órdenes y avisos generales con altavoces en las zonas de paso, habitación, cubierta y cámara de máquinas.
- Un sistema automático de doce teléfonos con los puntos más importantes del buque.
- Tres equipos de comunicaciones UHF tipo “walkie talkie” para comunicación con las áreas de manejo de la carga.
- Pulsadores luminosos en las gambuzas frigoríficas con actuación sobre las alarmas ópticas y acústicas dispuestas en la cocina.

La potencia de todo el equipo, por comparación con otros proyectos se estima en **4,00 kW**.



7 SERVICIO DE ALUMBRADO

El sistema de alumbrado del buque puede dividirse en tres subsistemas que son:

- Alumbrado de los espacios interiores
- Alumbrado de las zonas exteriores
- Luces de navegación

En los siguientes puntos se describen y dimensionan cada uno de estos tres subsistemas de iluminación

7.1 Alumbrado espacios internos

La iluminación de los distintos espacios cerrados del buque debe permitir a la tripulación el desarrollo de las actividades que se desarrollan en ellos de forma efectiva.

Para el dimensionamiento del sistema de iluminación se utiliza como variable el flujo luminoso “ ϕ ”, el cual se mide en lúmenes y está definido por la siguiente expresión:

$$\phi = E \cdot S \cdot \frac{F_d}{F_u}$$

Donde

- “E” es la iluminancia que se mide en luxes, hay una serie de valores de “E” recomendados para los distintos espacios:

Tipo de espacio	Iluminancia (luxes)
Camarotes	250
Pasillos, escaleras y ascensores	100
Puente de gobierno	350
Pañoles y gambuzas	150
Locales de maquinaria y equipos	200
Aseos	150
Locales de servicios	300
Salones y salas de reuniones	250
Oficinas	300
Salas de control	350
Hospital y enfermería	600
Comedor y oficios	300
Cocina	600
Talleres	600



- “S” superficie de cada grupo de espacios en metros cuadrados.
- “F_d” Es el factor de depreciación que tiene en cuenta el envejecimiento de las lámparas y sus armaduras, se tomará para todos los locales igual a 2,5.
- “F_u” Es el factor de utilización del local iluminado, se obtiene a partir de sus dimensiones y del tipo de alumbrado (directo, indirecto, semidirecto). En los cálculos se supondrá un valor típico para cada tipo de espacio.

La potencia eléctrica necesaria para suministrar un determinado flujo luminoso se estima en función del tipo de lámpara, en el buque se van a instalar tubos fluorescentes cuyo rendimiento es 90 lm/W.

En base a todo esto se han realizado los cálculos, todos ellos se presentan en la siguiente tabla:

Espacios	E (luxes)	S (m ²)	F _d	F _u	Φ (lúmenes)	Potencia (W)
Camarotes	250	519,9	2,5	0,45	722.083	8023
Pasillos, escaleras y ascensores	100	372,1	2,5	0,30	310.083	3445
Puente de gobierno	350	237,7	2,5	0,55	378.159	4202
Pañoles y gambuzas	150	110,4	2,5	0,30	138.000	1533
Espacios de maquinaria y equipos	200	3.189,5	2,5	0,35	4.556.429	50627
Aseos	150	78,0	2,5	0,25	117.000	1300
Locales de servicios	300	83,8	2,5	0,32	196.406	2182
Salones y salas de reuniones	250	87,7	2,5	0,40	137.031	1523
Oficinas	300	72,4	2,5	0,38	142.895	1588
Salas de control	350	94,0	2,5	0,32	257.031	2856
Hospital y enfermería	600	25,6	2,5	0,35	109.714	1219
Comedor	300	82,7	2,5	0,50	124.050	1378
Cocina	600	37,9	2,5	0,48	118.438	1316
Talleres	600	102,0	2,5	0,40	382.500	4250
TOTAL					7.689.820	85.442

Los espacios de maquinaria incluyen las distintas plataformas de cámara de máquinas, el local del servo y los espacios de este tipo de las superestructuras.

Por tanto, la potencia eléctrica necesaria para el servicio de alumbrado de los espacios internos del buque es **85,44 kW**.

En paralelo a este sistema de iluminación se debe instalar en cada local un sistema de alumbrado para las situaciones de emergencia.



7.2 Alumbrado exterior

Se emplean aquí focos de sodio de alta presión, halógenos o luces incandescentes según convenga. Las zonas a iluminar son las siguientes:

Zonas externas de la superestructuras (pasillos y escaleras)

Se iluminan estas zonas con luces incandescentes de 60 W que son controladas desde el puente de gobierno, siendo necesarios un total de 16 focos de luz, por lo que la potencia total será 960 W.

Además se instalan cuatro focos de sodio de 400 W, situados en los costados de cada superestructura.

Zonas de salvamento

En las zonas en las que se encuentran situados el bote de caída libre, el bote de rescate y las balsas salvavidas se instalan dos luces incandescentes de 60 W por zona (en total 10 unidades).

En la zona del bote salvavidas de caída libre y del bote de rescate se dispone además de focos incandescentes de 300 W. Todas estas luces solo se encienden en las situaciones de emergencia.

Cubierta principal

- Mástil de proa: Dos focos de sodio de 400 W orientados a la zona de amarre y fondeo (proa) y tres focos de 700 W orientados hacia la zona de carga (popa).
- Mástiles centrales: Dos focos orientados hacia proa de 700 W y dos focos de 400 W que iluminan la zona de mangueras del manifold (proa y popa).
- Cara de proa de la superestructura de habitación: Cuatro focos de 700 W.
- Cara de popa de la superestructura de la chimenea y el guardacalor: para iluminar la zona de amarre y fondeo de popa de la cubierta principal se disponen dos focos de sodio de 400 W.

Todas ellas son controladas desde el puente de gobierno.

Zona de trabajo de la grúa de provisiones

Se instalan dos luces incandescentes de 300 W.

Con lo cual la potencia total instalada para el alumbrado de los espacios externos es **12,76 kW** siendo de ellos **1,20 kW** exclusivos de la situación de emergencia.



7.3 Luces de navegación

Las luces de navegación son requeridas por el Convenio Internacional para la prevención de Abordajes (Parte C), estas se resumen en la siguiente tabla:

TIPO DE LUZ	NUM.	COLOR	ÁNGULO A CUBRIR	ALCANCE (millas)	INTENSIDAD LUMINOSA (Candelas)
De tope	2	Blanca	225°	6	94
De costado	2	Verde / Roja	112,5°	3	12
De alcance	1	Blanca	135°	3	12
De remolque	1	Amarilla	135°	3	12
De todo horizonte	1	Cualquiera	360°	3	12
Centelleante	1	Roja	360°	3	12

Además se disponen otras luces que pudieran ser exigidas en lugares concretos como canales, puertos o terminales.

Las luces de tope se instalan una en el mástil de proa y la otra sobre el puente de navegación, la luz de alcance en la superestructura de la chimenea, las de costado en la superestructura de habitación y el resto en el palo de luces sobre la superestructura.

El consumo eléctrico de estas luces se estima en 2,50 kW.



8 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Durante el desarrollo de todo el proyecto se ha hecho uso de una serie de referencias bibliográficas, las cuales se enumeran a continuación:

- [1] Ricardo Alvariño Castro, Juan José Azpíroz y Manuel Meizoso..; *“El proyecto básico del buque mercante”*, Ed. Fondo Editorial de Ingeniería Naval; Pub. 2007.
- [2] Lamb, Thomas (Written by an international group of authorities); *“Ship design and construction”*, Ed. Society of Naval Architects and Marine Engineers; Pub 2004.
- [3] Holtrop, J. y Mennen G.G.J.; *“An approximate power prediction method”*, International Shipbuilding Progress; Pub 1982.
- [4] Antonio Vaquero; *“Teoría del buque. Lecciones de resistencia al avance”*, Departamento de Artes Gráficas E.T.S.I.N.; Edición 2002.
- [5] Antonio Vaquero; *“Teoría del buque. Introducción a la propulsión de buques”*, Departamento de Artes Gráficas E.T.S.I.N.; Edición 2005.
- [6] Capitán I.G. Reigadas; *“El buque tanque”*, Ediciones EDG; Pub 2004.
- [7] David G. M. Watson; *“Practical Ship Design”*, ELSEVIER OCEAN ENG. BOOK SERIES; Pub 1998.
- [8] Guillermo Ricardo Gadea; *“Los buques tanque y su clasificación”*, PETROTECNIA; Abril 2004
- [9] M.A. Meizoso, J.L. Garcés; *“Apuntes de proyectos”*, Departamento de Artes Gráficas E.T.S.I.N.
- [10] G. Pérez; *“Teoría del buque (Máquinas) Tomo II-B”*, Departamento de Artes Gráficas E.T.S.I.N.
- [11] Antonio Baquero; *“Análisis de comportamiento del buque bajo la acción del timón. Aspectos hidrodinámicos y de proyecto”*, Tesis Doctoral; Canal de experiencias hidrodinámicas, el Pardo; Publicación núm. 66. Madrid, Noviembre de 1981.
- [12] Álvaro Zurita y Sáez de Navarrete; *“Introducción al diseño de cámara de máquinas”*, Sección de Publicaciones E.T.S.I.N.
- [13] K. Van Dokkum; *“Ship knowledge, a modern encyclopedia”*, Editorial Dokmar; Pub 2003
- [14] Luis Ramón Núñez Rivas; Apuntes de clase de la asignatura “Instalaciones de vapor”, Año 2006.



- [15] Alfonso López de Asiaín Zabia; Apuntes de clase de la asignatura “Equipo y servicios”, Año 2004.
- [16] Amable López Piñeiro; *“Electricidad aplicada al buque – Diseño general de la planta eléctrica”*, Departamento de Artes Gráficas E.T.S.I.N; Pub 1999.
- [17] Amable López Piñeiro; *“Distribución eléctrica a bordo”*, Departamento de Artes Gráficas E.T.S.I.N; Pub 1999.
- [18] Manuel Meizoso Fernández y José Luis García Garcés. *“Desplazamiento. Cálculo iterativo del peso en rosca y el peso muerto”*, Departamento de publicaciones de la ETSIN; Pub Junio 2000
- [19] Manuales de FORAN60.
- [20] *“Common Structural Rules for Double Hull Oil Tankers (CSR)”* publicadas por IACS y en vigor desde el 1 de Abril de 2006
- [21] Lloyds Register of Shipping; *“Rules and Regulations for the Classification of Ships”*; Edición de 2007
- [22] Convenio SOLAS, Edición consolidada 2004.
- [23] Convenio MARPOL 73/78/90 y enmiendas.
- [24] Convenio Internacional sobre Líneas de Carga de 66/88 (Edición revisada 2005).
- [25] Convenio Internacional de 23 de Junio de 1969, sobre Arqueo de Buques hecho en Londres. En vigor desde 18 de Julio de 1982.
- [26] Lloyd’s Register of Shipping; *Lloyd’s Register Information*; <http://www.lr.org>
- [27] Base de datos de buques de Lloyd’s Register of Shipping; <http://www.sea-web.com>
- [28] Jaime Torroja Méndez. *“Apuntes de proyectos. Volumen 1”*, Departamento de publicaciones de la ETSIN; Pub 1987.
- [29] *“Standards for Oil Tanker Manifolds and Associated Equipment”*, Oil Companies International Marine Forum (OCIMF). 3rd Edition 1981.
- [30] *“Recommendations for Equipment Employed in the Mooring of Ships at Single Point Moorings”*, Oil Companies International Marine Forum (OCIMF). 2nd Edition, 1988.
- [31] *“Shipping and shipbuilding markets. Annual Review 2009”*, Barry Rogliano Salles. Pub 2009.

PROYECTO 1.731
PETROLERO PARA CRUDO 150.000 TPM

CUADERNO 11

PLANTA ELÉCTRICA



Tutor: D. Francisco Alonso Thous

Realizado por: José Antonio Durango Ramón



CONTENIDOS

1	INTRODUCCIÓN	2
2	NOMENCLATURA	3
3	DEFINICIÓN DE LA PLANTA ELÉCTRICA.....	4
3.1	Tensiones y frecuencias	4
3.1	Distribución	4
4	CONSUMIDORES DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....	5
5	SERVICIOS ESENCIALES Y NO ESENCIALES	7
6	SITUACIONES DE CARGA ELÉCTRICA	9
7	BALANCE ELÉCTRICO.....	10
8	DIMENSIONAMIENTO DE LA PLANTA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA	15
9	DETERMINACIÓN DEL NÚMERO Y CAPACIDAD DE TRANSFORMADORES.....	16
10	CUADROS ELÉCTRICOS. CUADRO PRINCIPAL.....	17
11	DIAGRAMA UNIFILAR.....	20
12	CONCLUSIONES	22
13	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	23



1 INTRODUCCIÓN

La condición de aislamiento del buque exige que la electricidad que se haya de consumir a bordo sea generada en el propio buque y al igual que en el caso de la propulsión la fuente primaria de energía es el combustible almacenado a bordo.

La electricidad se obtiene por transformación de la energía almacenada en el combustible en energía mecánica, en motores diesel de 4T acoplados a alternadores que a su vez transforman la energía mecánica en energía eléctrica.

La planta generadora debe constar obligatoriamente de tres grupos generadores, pues es un requisito impuesto en la especificación del buque, cada uno de ellos con la capacidad suficiente para suministrar la energía necesaria para garantizar una navegación segura.

En el presente cuaderno se va a describir la planta eléctrica del buque, la cual debe ser dimensionada en base a un balance eléctrico; El proceso a seguir se resume en los siguientes puntos:

1. Definición de las características de la electricidad producida en lo que respecta a tensiones y frecuencias.
2. Enumeración de los distintos consumidores de energía eléctrica.
3. Situaciones de carga eléctrica.
4. Dimensionamiento de los grupos de generación de electricidad en base a los resultados obtenidos en el balance eléctrico.
5. Características principales de la red de distribución: Transformadores, cuadros, conductores, etc.



2 NOMENCLATURA

Variable	Descripción (unidades)
P	Potencia eléctrica (kW)
F _U	Factor de utilización
F _S	Factor de simultaneidad
cos	Factor de potencia
I	Intensidad de corriente (Amperios)
V	Tensión (Voltios)
S	Potencia aparente (kVA)
K _{Agrupamiento}	Factor de agrupamiento de barras



3 DEFINICIÓN DE LA PLANTA ELÉCTRICA

El tipo de corriente de la planta eléctrica que se empleará a bordo es corriente alterna como suele ser habitual puesto que supone un menor número de componentes y por tanto menor peso, menor empacho, y por supuesto, menor coste.

Además, al disponer de corriente alterna el buque tiene la posibilidad de abastecerse del servicio de tierra que siempre será más económico que generar a bordo la electricidad.

3.1 Tensiones y frecuencias

Para la elección de ambos parámetros, los cuales definen la red eléctrica del buque, se han de tener en cuenta los siguientes factores:

- A mayor tensión, se requiere una menor sección de cables, de esta forma se ahorra en peso y empacho del equipo eléctrico.
- A mayor frecuencia e igual número de polos, los motores eléctricos giran a más revoluciones y por tanto necesitan, para una determinada potencia, un menor tamaño y peso.

Actualmente se ha estandarizado a bordo el uso de redes de 380 V / 50Hz y de 440 V / 60 Hz, por lo que en base a lo anteriormente expuesto, es más conveniente la elección de una red de 440 V de tensión y 60 Hz de frecuencia.

3.1 Distribución

Los sistemas de distribución eléctrica son dos:

- Red de 220 V / 60 Hz para el alumbrado y los servicios de habilitación en general, esta red requerirá transformadores monofásicos.
- Red de fuerza de 440 V / 60 Hz que serán los parámetros de generación de energía eléctrica.



4 CONSUMIDORES DE ENERGÍA ELÉCTRICA

En los cuadernos 7 y 10 se han ido definiendo los distintos consumidores de electricidad del buque, en la siguiente tabla se recoge cada uno de ellos con el sistema al que pertenecen, su respectiva potencia nominal y el número de unidades dispuestas a bordo:

Sistema	Consumidor	Num	P. Unitaria (kW)	P. Instalada (kW)
Alimentación de agua de calderas	Bombas de agua de alimentación de calderas	4	16,20	64,80
	Bombas de agua de alimentación caldereta	2	1,43	2,86
Servicio de combustible pesado	Bombas trasiego entre tanques almacén - sedimentación	2	18,87	37,74
	Bombas purificadora de combustible	2	2,00	4,00
	Bombas circulación (m.p. y auxiliares)	2	6,44	12,88
	Bombas de alta m.p.	2	2,00	4,00
	Bombas alta auxiliares	3	0,27	0,81
	Bombas alimentación calderas principales	4	0,81	3,24
	Bombas trasiego t. reboses -t. sedimentación	2	6,74	13,48
	Bombas tanques de lodos y sentinas	2	15,77	31,54
	Bomba trasiego t. almacén- servicio diario	2	2,78	5,56
Servicio de combustible ligero	Bomba alimentación a consumidores	2	5,00	10,00
	Bomba trasiego tanques almacén-servicio	1	0,20	0,20
Sistema de lubricación de m.p. y auxiliares	Bombas trasiego entre tanques de aceite cárter	2	2,60	5,20
	Bombas de circulación aceite de cárter	2	99,81	199,62
	Bombas suministro actuadores válvulas m.p.	2	0,46	0,92
	Bombas purificadora de aceite de cárter	2	0,55	1,10
	Purificadora centrífuga de aceite	2	3,00	6,00
	Bomba lubricación motores auxiliares	3	8,33	24,99
	Bombas de agua salada (circuito primario)	2	168,33	336,66
Servicio de refrigeración	Bombas de agua dulce (circuito secundario)	2	122,73	245,46



Sistema	Consumidor	Num	P. Unitaria (kW)	P. Instalada (kW)
	Bombas agua salda refriger. Condensadores calderas	2	150,00	300,00
Servicio de laste	Bombas de lastre	2	278,18	556,36
Serv. de obtención de agua dulce	Equipo de obtención de agua dulce	1	120,97	120,97
Servicio de aire comprimido	Compresor de emergencia	1	2,00	2,00
Servicios de la carga	Grúa de mangueras	2	35,98	71,96
	Generador de gas inerte	1	60,35	60,35
Sistemas de contraincendios	Bombas agua salada	3	11,45	34,35
	Bombas sist. rociadores acomodación	2	78,08	156,16
	Sistema de CO ₂ de cámara de máquinas	1	15,00	15,00
	Sistema de espuma cubierta de carga	2	1,45	2,90
Ventilación cámara de máquinas	Ventiladores	5	18,20	91,00
	Extractores	4	7,28	29,12
Servicios de habilitación	Sist de aire acondicionado	1	37,10	37,10
	Sistemas de ventilación y extracción de aire	2	7,31	14,62
	Cámaras refrigeradas	1	38,03	38,03
	Bombas de agua potable	2	0,18	0,36
	Consumo eléctrico habilitación	1	200,00	200,00
	Bombas de agua caliente	2	0,10	0,20
	Ascensores y montacargas	1	50,00	50,00
	Grúas de provisiones	2	10,23	20,46
Servicios ecológicos	Planta tratamiento de aguas residuales	1	5,00	5,00
	Sistema de sentinas	1	19,15	19,15
	Sistema de emergencia de sentinas y achique	1	10,00	10,00
Servicio de gobierno	Servomotor	2	79,00	158,00
Servicio de fondeo	Molinetes ancla	2	427,33	427,33
Servicio de amarre	Maquinillas de amarre	7	35,04	245,28
Servicios de navegación y comunicaciones	Equipo de ayuda a la navegación	1	10,00	10,00
	Sist. de comunicaciones externas	1	6,00	6,00
	Sist. de comunicaciones internas	1	4,00	4,00
Servicios de navegación y comunicaciones	Espacios internos	1	85,42	85,42
	Espacios externos	1	12,76	12,76
	Luces de navegación	1	2,50	2,50



5 SERVICIOS ESENCIALES Y NO ESENCIALES

Todos los consumidores eléctricos que se han enumerado en el punto anterior se clasifican en esenciales y no esenciales. Los servicios esenciales son aquellos que son totalmente necesarios para el mantenimiento de las condiciones mínimas de propulsión, seguridad, habitabilidad y conservación de la carga. En la siguiente tabla se indica cuales de los consumidores de electricidad definidos son esenciales.

Sistema	Consumidor	Servicios esenciales
Alimentación de agua de calderas	Bombas de agua de alimentación de calderas	X
	Bombas de agua de alimentación caldereta	
Servicio de combustible pesado	Bombas trasiego entre tanques almacén - sedimentación	X
	Bombas purificadora de combustible	X
	Bombas circulación (m.p. y auxiliares)	X
	Bombas de alta m.p.	X
	Bombas alta auxiliares	X
	Bombas alimentación calderas principales	X
	Bombas trasiego t. reboses-t. sedimentación	X
	Bombas tanques de lodos y sentinas	X
Servicio de combustible ligero	Bomba trasiego t. almacén- servicio diario	
	Bomba alimentación a consumidores	
Sistema de lubricación de m.p. y auxiliares	Bomba trasiego tanques almacén-servicio	X
	Bombas trasiego entre tanques de aceite cárter	X
	Bombas de circulación aceite de cárter	X
	Bombas suministro actuadores válvulas m.p.	X
	Bombas purificadora de aceite de cárter	X
	Purificadora centrífuga de aceite	X
	Bomba lubricación motores auxiliares	X
Servicio de refrigeración	Bombas de agua salada (circuito primario)	X



Sistema	Consumidor	Servicios esenciales
	Bombas de agua dulce (circuito secundario)	X
Servicio de laste	Bombas de lastre	X
Servicio de obtención de agua dulce	Equipo de obtención de agua dulce	X
Servicio de aire comprimido	Compresor de emergencia	X
Servicios de la carga	Grúa de mangueras	
	Generador de gas inerte	X
Sistemas de contraincendios	Bombas agua salada	X
	Bombas sist. rociadores acomodación	X
	Sistema de CO ₂ de cámara de máquinas	X
	Sistema de espuma cubierta de carga	X
Ventilación cámara de máquinas	Ventiladores	X
	Extractores	X
Servicios de habitación	Sist. aire acondicionado	
	Sistemas de ventilación y extracción de aire	X
	Cámaras refrigeradas	X
	Bombas de agua potable	X
	Bombas de agua caliente	X
	Consumo eléctrico hab.	
	Ascensores y montacargas	
	Grúas de provisiones	
Servicios ecológicos	Planta tratamiento de aguas residuales	
	Sistema de sentinas	
	Sistema de emergencia de sentinas y achique	X
Servicio de gobierno	Servomotor	X
Servicio de fondeo	Molinetes ancla	
Servicio de amarre	Maquinillas de amarre	
Servicios de navegación y comunicaciones	Equipo de ayuda a la navegación	X
	Sist. de comunicaciones externas	X
	Sist. de comunicaciones internas	X
Servicios de navegación y comunicaciones	Espacios internos	X
	Espacios externos	X
	Luces de navegación	X



6 SITUACIONES DE CARGA ELÉCTRICA

Se considerarán para el balance eléctrico las siguientes situaciones de carga eléctrica

- **Navegación**: Será la situación más habitual del buque tanto a plena carga como en lastre. No se considera distinción entre la situación de navegación y la de navegación calentando carga, puesto que esta última supone una diferencia de consumo pequeña como consecuencia de la puesta en servicio de una de las calderas principales.
- **Carga/descarga de petróleo**: Ambas operaciones requieren una demanda eléctrica muy similar puesto que en ambas se utilizan las bombas de lastre (que es el mayor consumidor de esta situación).
- **Maniobra**: Es la operación de transición entre la de navegación y la de carga/descarga, se caracteriza porque se ponen en funcionamiento un gran número de equipos de casco y cubierta.
- **Estancia en puerto o fondeado**: Situación de mínimo consumo puesto que el buque no está realizando ninguna operación específica.
- **Emergencia**: Esta situación es independiente de cualquiera de las anteriores. Se considera en este caso que fallan todos los modos de generación de energía del buque excepto el generador de emergencia para mantener una serie de servicios operativos.



7 BALANCE ELÉCTRICO

Para llevar a cabo el balance eléctrico se han afectado todos los consumidores de dos coeficientes en función de la situación de carga eléctrica que son:

- Coeficiente de simultaneidad " K_s ": Cuando hay varios consumidores de un mismo servicio se utiliza para indicar que no todos ellos se encuentran operando en esa situación, es útil sobre todo cuando hay elementos de respeto en los distintos sistemas.
- Coeficiente de potencia " K_p ": Indica el porcentaje de potencia sobre su consumo nominal máximo que utiliza cada servicio en cada situación de carga.

En todas las situaciones de carga eléctrica se suponen unas pérdidas del 1 por ciento del consumo total.

La siguiente tabla recoge todos los consumidores de electricidad, su número y consumo eléctrico. También se indica el valor considerado para los coeficientes de simultaneidad y de potencia así como el consumo en cada situación de carga eléctrica:



Consumidores	Num.	Consumo Unitario (kW)	Potencia instalada (kW)	NAVEGACIÓN			CARGA / DESCARGA			MANIOBRA			ESTANCIA EN PUERTO		
				K _S	K _P	Consumo (kW)	K _S	K _P	Consumo (kW)	K _S	K _P	Consumo (kW)	K _S	K _P	Consumo (kW)
Bombas de agua de alimentación de calderas	4	16,20	64,80	0,5	0,2	6,48	0,5	1,0	32,40	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00
Bombas de agua de alimentación caldereta	2	1,43	2,86	0,5	1,0	1,43	0,5	1,0	1,43	0,5	1,0	1,43	0,5	1,0	1,43
Bombas trasiego tanques almacén - sedimentación	2	18,87	37,74	0,5	0,1	1,89	0,5	0,3	5,66	0,5	0,3	5,66	0,5	0,1	1,89
Bombas purificadora de combustible	2	2,00	4,00	0,5	0,8	1,60	0,5	0,6	1,20	0,5	0,8	1,60	0,5	0,2	0,40
Bombas circulación (m.p. y auxiliares)	2	6,04	12,08	0,5	0,5	3,02	0,5	1,0	6,04	0,5	0,7	4,23	0,5	0,5	3,02
Bombas de alta m.p.	2	2,00	4,00	0,5	1,0	2,00	0,0	0,0	0,00	0,5	1,0	2,00	0,0	0,0	0,00
Bombas alta auxiliares	3	0,27	0,81	0,4	1,0	0,32	0,7	1,0	0,57	0,4	1,0	0,32	0,4	1,0	0,32
Bombas HFO alimentación calderas principales	4	0,81	3,24	0,0	0,0	0,00	0,5	1,0	1,62	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00
Bombas trasiego HFO t. reboses- sedimentación	2	6,74	13,48	0,5	0,1	0,67	0,5	0,3	2,02	0,5	0,3	2,02	0,5	0,1	0,67
Bombas t. de lodos y sentinas	2	15,77	31,54	0,5	0,2	3,15	0,5	0,2	3,15	0,5	0,2	3,15	0,0	0,0	0,00
Bombas trasiego HFO t. almacén- servicio diario	2	2,78	5,56	0,5	0,2	0,56	0,5	0,2	0,56	0,5	0,2	0,56	0,5	0,1	0,28
Bombas alimentación MDO a consumidores	2	5,00	10,00	0,0	0,0	0,00	0,5	0,2	1,00	0,5	0,2	1,00	0,5	0,1	0,50
Bomba trasiego MDO tanques almacén-servicio	1	0,20	0,20	0,2	0,3	0,01	0,2	0,5	0,02	0,2	0,5	0,02	0,2	0,5	0,02
Bombas trasiego entre tanques de aceite cárter	2	2,60	5,20	0,5	0,2	0,52	0,0	0,0	0,00	0,5	0,2	0,52	0,0	0,0	0,00
Bombas de circulación aceite de cárter	2	99,81	199,62	0,5	0,7	69,87	0,0	0,0	0,00	0,5	0,7	69,87	0,0	0,0	0,00
Bombas suministro actuadores válvulas m.p.	2	0,46	0,92	0,5	1,0	0,46	0,0	0,0	0,00	0,5	1,0	0,46	0,0	0,0	0,00



Consumidores	Num.	Consumo Unitario (kW)	Potencia instalada (kW)	NAVEGACIÓN			CARGA / DESCARGA			MANIOBRA			ESTANCIA EN PUERTO		
				K _S	K _P	Consumo (kW)	K _S	K _P	Consumo (kW)	K _S	K _P	Consumo (kW)	K _S	K _P	Consumo (kW)
Bombas purificadora de aceite de cárter	2	0,55	1,10	0,5	1,0	0,55	0,0	0,0	0,00	0,5	1,0	0,55	0,0	0,0	0,00
Purificadora centrífuga de aceite del cárter	2	3,00	6,00	0,5	1,0	3,00	0,0	0,0	0,00	0,5	1,0	3,00	0,0	0,0	0,00
Bombas lubricación motores auxiliares	3	8,33	24,99	0,4	1,0	10,00	0,7	1,0	17,49	0,4	1,0	10,00	0,4	1,0	10,00
Bombas de agua salada sist. refrigeración	2	168,33	336,66	0,5	0,6	101,00	0,5	0,8	134,66	0,5	0,6	101,00	0,5	0,2	33,67
Bombas de agua dulce sist. refrigeración	2	122,73	245,46	0,5	0,6	73,64	0,5	0,8	98,18	0,5	0,6	73,64	0,5	0,2	24,55
Bombas agua salada refrigeración condensadores	2	150,00	300,00	0,5	0,2	30,00	0,5	0,8	120,00	0,0	0,0	0,00	0,5	0,0	0,00
Bombas de lastre	2	278,18	556,36	0,0	0,0	0,00	1,0	0,8	445,09	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00
Equipo obtención agua dulce	1	120,97	120,97	0,4	0,8	38,71	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00
Compresor de emergencia	1	2,00	2,00	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00
Grúa de mangueras	2	35,98	71,96	0,0	0,0	0,00	0,5	0,8	28,78	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00
Generador de gas inerte	1	60,35	60,35	0,0	0,0	0,00	1,0	0,8	48,28	0,0	0,0	0,00	1,0	0,1	6,04
Bombas agua salada del sist. de contraincendios	3	11,45	34,35	0,5	0,2	3,44	0,5	0,2	3,44	0,5	0,2	3,44	0,5	0,2	3,44
Bombas sist. rociadores acomodación	2	78,08	156,16	0,5	0,2	15,62	0,5	0,2	15,62	0,5	0,2	15,62	0,5	0,2	15,62
Sistema de CO ₂ de cámara de máquinas	1	15,00	15,00	1,0	0,2	3,00	1,0	0,2	3,00	1,0	0,2	3,00	1,0	0,2	3,00
Sistema espuma cub. carga	2	1,45	2,90	0,5	0,2	0,29	0,5	0,2	0,29	0,5	0,2	0,29	0,5	0,2	0,29
Ventiladores c. de máquinas	5	18,20	91,00	0,8	0,8	58,24	0,8	0,8	58,24	0,8	0,8	58,24	0,4	0,8	29,12
Extractores c. de máquinas	4	7,28	29,12	0,8	0,8	18,64	0,8	0,8	18,64	0,8	0,8	18,64	0,4	0,8	9,32
Sistema de aire acondicionado	1	37,10	37,10	0,5	1,0	18,55	0,5	1,0	18,55	0,5	1,0	18,55	0,5	1,0	18,55
Sistemas de ventilación y extracción de aire	2	7,31	14,62	0,5	1,0	7,31	0,5	1,0	7,31	0,5	1,0	7,31	0,5	1,0	7,31



Consumidores	Num.	Consumo Unitario (kW)	Potencia instalada (kW)	NAVEGACIÓN			CARGA / DESCARGA			MANIOBRA			ESTANCIA EN PUERTO		
				K _S	K _P	Consumo (kW)	K _S	K _P	Consumo (kW)	K _S	K _P	Consumo (kW)	K _S	K _P	Consumo (kW)
Cámaras refrigeradas	1	38,03	38,03	1,0	1,0	38,03	1,0	1,0	38,03	1,0	1,0	38,03	1,0	1,0	38,03
Bombas de agua potable	2	0,18	0,36	0,5	0,5	0,09	0,5	0,8	0,14	0,5	0,8	0,14	0,5	0,8	0,14
Consumo eléctrico habilitación	1	200,00	200,00	0,4	0,5	40,00	0,4	0,7	56,00	0,4	0,7	56,00	0,4	0,7	56,00
Bombas de agua caliente	2	0,10	0,20	0,5	0,5	0,05	0,5	0,8	0,08	0,5	0,8	0,08	0,5	0,8	0,08
Ascensores y montacargas	1	50,00	50,00	0,4	0,5	10,00	0,4	0,8	16,00	0,4	0,8	16,00	0,4	0,8	16,00
Grúas de provisiones	2	10,23	20,46	0,0	0,0	0,00	0,5	0,7	7,16	0,0	0,0	0,00	0,5	0,5	5,12
Planta tratamiento de aguas residuales	1	5,00	5,00	0,3	0,8	1,20	0,3	0,8	1,20	0,3	0,8	1,20	0,3	0,8	1,20
Sistema de sentinas	1	19,15	19,15	0,3	0,8	4,60	0,3	0,8	4,60	0,3	0,8	4,60	0,1	0,8	1,53
Sistema de emergencia de sentinas y achique	1	10,00	10,00	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00
Servomotor	2	79,00	158,00	0,3	0,1	4,74	0,0	0,0	0,00	0,5	0,8	63,20	0,0	0,0	0,00
Molinetes ancla	2	427,33	854,66	0,0	0,0	0,00	0,5	0,2	85,47	0,0	0,0	0,00	0,5	0,2	85,47
Maquinillas de amarre	7	35,04	245,28	0,0	0,0	0,00	0,5	0,2	24,53	0,5	0,8	98,11	0,5	0,2	24,53
Equipo de ayuda a la navegación	1	10,00	10,00	1,0	1,0	10,00	1,0	0,3	3,00	1,0	1,0	10,00	1,0	0,1	1,00
Sist. de comunicaciones externas	1	6,00	6,00	1,0	1,0	6,00	1,0	0,8	4,80	1,0	1,0	6,00	1,0	0,8	4,80
Sist. de comunicaciones internas	1	4,00	4,00	1,0	1,0	4,00	1,0	0,8	3,20	1,0	1,0	4,00	1,0	0,8	3,20
Iluminación espacios internos	1	85,42	85,42	1,0	0,8	68,34	1,0	0,8	68,34	1,0	0,8	68,34	1,0	0,8	68,34
Iluminación espacios externos	1	12,76	12,76	0,5	0,8	5,10	0,5	0,8	5,10	0,5	0,8	5,10	0,5	0,8	5,10
Luces de navegación	1	2,50	2,50	1,0	1,0	2,50	1,0	1,0	2,50	1,0	1,0	2,50	1,0	1,0	2,50
Pérdidas	1	1% C.T.	1% C.T.	1,0	1,0	6,69	1,0	1,0	13,93	1,0	1,0	7,79	1,0	1,0	4,82
				TOTAL		675.29	TOTAL		1.407.32	TOTAL		787.20	TOTAL		487,27



Estudio de la situación de emergencia

La sociedad de clasificación establece unos requerimientos mínimos de la situación de emergencia (Parte 6 – Capítulo 2 – Sección 3) que son:

- Iluminación de las zonas de embarque durante un periodo de 3 horas; En el punto 7.2 del cuaderno 10 se explicó que la potencia necesaria para esta función es **1,20 kW**.
- Iluminación de emergencia durante 18 horas en los siguientes espacios interiores:
 - Pasillos, escaleras y salidas de servicios y acomodación
 - Espacios de maquinaria y puestos de control
 - Estaciones de control y locales donde estén ubicados los cuadros de emergencia
 - Puestos de estiba de los equipos contraincendios
 - Local del servo
 - Puestos de accionamiento de bomba contraincendios de emergencia, bomba de rociadores y bomba de sentinas.
 - Cámara de bombas
 - Luces de navegación.

El consumo de todo ello se estima en **2,00 kW**.

- Comunicaciones exteriores (**6,00 kW**)
- Equipos de navegación (**10,00 kW**)
- Sistema de alarmas y detección de incendios (**1,00 kW**)
- Bomba de contraincendios de emergencia (**11,45 kW**)
- Servomotor (**79,00 kW**)

Adicionalmente se tienen en cuenta para la situación de emergencia los siguientes servicios:

- Servicios de contraincendios (**128,88 kW**)
- Sistema de achique de emergencia (**10,00 kW**)
- Luces de navegación (**2,50 kW**)
- Sistema de comunicaciones internas y megafonía (**4,00 kW**)

Lo que hace un total de **256,03 kW** que es el consumo eléctrico en la situación de carga eléctrica de emergencia.

Un resumen del consumo de las distintas situaciones de carga como resultado del balance eléctrico efectuado es el siguiente:

Situación de carga	Consumo (kW)
Navegación	675,29
Carga / Descarga	1.407,32
Maniobra	787,20
Estancia en puerto	487,27
Emergencia	256,03



8 DIMENSIONAMIENTO DE LA PLANTA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Por imposiciones de la especificación, la planta de generación ha de consistir en 3 grupos generadores, a parte del generador de emergencia.

Tras analizar los equipos comerciales se decide optar por grupos generadores MAN modelo 8L16/24 con las siguientes características principales:

Potencia del motor diesel	880 kW
Potencia de salida del generador	835 kWe
Consumo de combustible	242,4 kg/h
Consumo de aceite	0,32 – 0,64 kg/h
Número de cilindros	8
Peso sin líquidos	12,4 t
Revoluciones	1.200 rpm
Presión media efectiva	22,4 bar
Velocidad del pistón	9,6 m/s
Diámetro cilindros	160 mm
Carrera	240 mm
Eslora	5,26 m
Manga	1,41 m
Altura	2,26 m

Se han elegido estos grupos de modo que en la situación de máxima potencia solo tengan que estar dos de ellos operativos quedando siempre uno de ellos de respeto. En base a ello, el número de grupos que prestan servicio en cada situación de carga eléctrica y su régimen de funcionamiento se indica en el siguiente cuadro:

Situación de carga	Consumo (kW)	Número de grupos	Régimen
Navegación	675,29	1	80,9%
Carga / Descarga	1.407,32	2	84,3%
Maniobra	787,20	1	94,3%
Estancia en puerto	487,27	1	58,4%

Por lo que en todas las situaciones los grupos operan a un régimen aceptable teniendo suficiente margen de potencia en caso de cualquier eventualidad.

Para la situación de emergencia, se selecciona un grupo generador VOLVO PENTA modelo TAD941GE con una potencia eléctrica de 303 kWe que funcionará en esta situación de carga a un régimen del 84 %.



9 DETERMINACIÓN DEL NÚMERO Y CAPACIDAD DE TRANSFORMADORES

Como se ha dicho en puntos anteriores, hay una serie de consumidores que funcionan a través de una red a 220 V por lo que es necesario instalar un sistema de transformadores que adapten la corriente generada a este valor de tensión.

Los servicios que se tendrán en cuenta para ello junto con su consumo máximo en las distintas situaciones de carga son los siguientes:

Situación de carga	Consumo (kW)
Consumo eléctrico habitación	160
Equipo ayuda a la navegación	10
Sistemas de comunicaciones	10
Iluminación y luces de navegación	76

Lo que hace un total de 256 kW, suponiendo un factor de potencia “cos ϕ ” de 0,8 se tiene una potencia aparente de 320 kVA.

Se disponen a bordo dos transformadores de 350 kVA para que den servicio a estos consumidores, estos transformadores se disponen en un local separado en la tercera plataforma de cámara de máquinas.

Además, se dispone de un transformador de emergencia (situado en el local del generador y cuadro de emergencia) con una potencia nominal de 310 kVA.



10 CUADROS ELÉCTRICOS. CUADRO PRINCIPAL

En los distintos cuadros eléctricos del buque se disponen diversos equipos de aparamenta para maniobra y control de elementos de la red. Estos cuadros suelen ser armarios de chapa metálica pintada cuyas paredes y puertas se encuentran conectadas adecuadamente a masa.

Estos armarios suelen tener rejillas de refrigeración natural o forzada (según necesidades) para evacuar el calor por efecto Joule que generan los conductores.

El cuadro eléctrico principal es el punto de conexión de los distintos generadores a la red, desde este cuadro se distribuye la energía en distintos escalones, a otros cuadros denominados primarios, secundarios, etc.

Los cuadros desde los que se alimentan los consumidores, son los denominados terminales, de los que salen una o varias líneas, denominadas circuitos finales. Además, se dispone de un cuadro de emergencia directamente conectado con el generador de emergencia que se sitúa en el mismo local que el grupo de emergencia y se conecta a los servicios de emergencia y al cuadro principal.

La alimentación de los servicios desde el cuadro de emergencia es alternativa frente a la alimentación del cuadro principal.

El cuadro principal está situado en un local independiente de cámara de máquinas (tercera plataforma), se divide en los siguientes módulos:

- 3 paneles, uno para cada generador
- 1 panel de sincronismo para el acoplamiento de los generadores.
- 2 paneles de servicios no esenciales
- 2 paneles de servicios esenciales
- 1 panel de salidas de 220 V

Los distintos módulos o paneles se conectan por medio de barras de perfiles rectangulares. De ellas “cuelgan” los distintos generadores, consumidores y los elementos de medida y control.

Para el dimensionamiento de las barras se tendrá en cuenta la situación de carga en la que la corriente sea máxima, no debiendo producirse deformación permanente en el cobre.

Se pasa a calcular a continuación la sección de los principales elementos de distribución de la planta eléctrica:

Conductores de los generadores al cuadro principal

Estos conductores serán independientes de cada generador y se dimensionan para absorber el 100% de la potencia generada en cada uno. Serán cables trifilares de aislante tipo EPR por ser los más utilizados a bordo.

La potencia aparente de cada generador es 1.073,75 kVA por lo que su intensidad nominal es:



$$I = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V} = \frac{1.073,75}{\sqrt{3} \cdot 440} = 1.369,6 \text{ A}$$

En base a ello se decide instalar 5 cables trifilares de 125 mm de sección cuya intensidad nominal máxima es de 275 A.

Conductores del generador de emergencia

La potencia aparente del generador de emergencia es 378,75 kVA por lo que su intensidad nominal es:

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V} = \frac{378,75}{\sqrt{3} \cdot 440} = 497,0 \text{ A}$$

En base a ello se decide instalar 3 cables trifilares de 80 mm de sección unitaria cuya intensidad nominal máxima es de 174 A.

Barras del cuadro principal

Como se ha dicho anteriormente, para el dimensionamiento de las barras se tendrá en cuenta la situación de carga eléctrica de mayor consumo que es la situación de carga / descarga con 1.438,54 kW \approx 1.798,18 kVA.

La intensidad máxima que recorre las barras es por tanto:

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V} = \frac{1.798,18}{\sqrt{3} \cdot 440} = 2.359,5 \text{ A}$$

Esta intensidad resulta muy elevada para una sola barra por lo que se dispondrán dos barras separadas 6,5 mm, lo cual exige una corrección por agrupamiento tal como se recoge en la siguiente tabla:

Nº barras	2	3	4	5	6	8	10
K _{Agrupamiento}	1,8	2,5	3,2	3,9	4,4	5,5	6,5

La intensidad máxima admisible en cada barra se calcula:

$$I_{\text{admisible}} = \frac{I_{\text{max}}}{K_{\text{Agrupamiento}}} = \frac{2.359,5}{1,8} = 1.310,8 \text{ A}$$

Las barras se seleccionan en base a la siguiente tabla:

Thickness(mm)	Width(mm)						
	25	31,5	40	50	63	80	100
2,5	260	320	390	480	580	--	--
4,0	340	410	500	600	740	900	1090
6,3	440	530	640	770	930	1130	1350
10,0	--	--	--	970	1160	1390	1660



Por lo que se instalan dos barras de 10 x 50 mm de intensidad máxima admisible de 1.390 A.

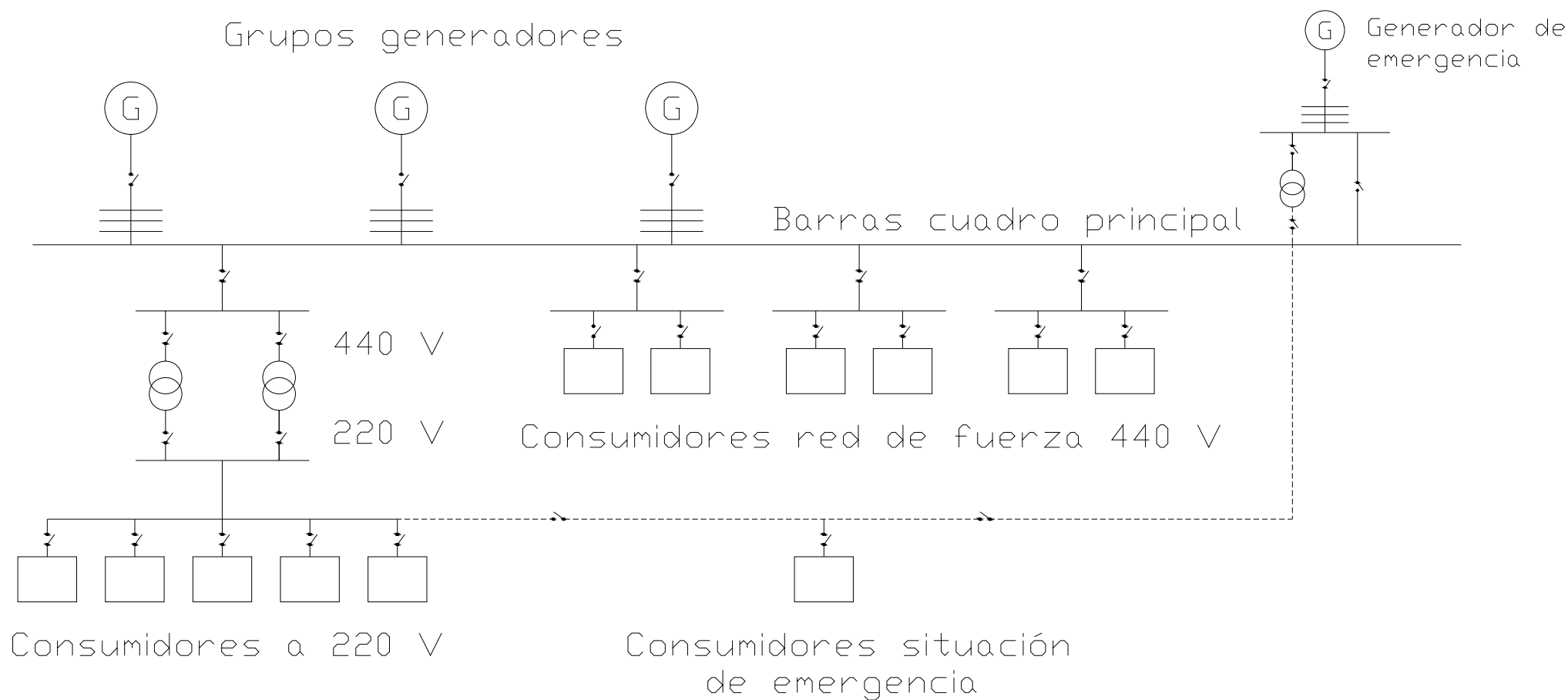
Barras del cuadro de emergencia

La intensidad máxima que pasa por las barras de este cuadro es 497 A por lo que se dispone de una barra de sección 6,3 x 31,5 mm con una intensidad máxima admisible de 530 A.



11 DIAGRAMA UNIFILAR

En la siguiente página se presenta un diagrama unifilar de la planta eléctrica del buque:





12 CONCLUSIONES

Con este cuaderno se cierra el apartado de sistemas y equipos del buque que comprende los siguientes cuadernos:

- Sistemas de cámara de máquinas (Cuaderno 7)
- Equipo y sistemas del buque (Cuaderno 10)
- Planta eléctrica (Cuaderno 11)

Todos ellos se encuentran relacionados de una manera u otra puesto que cada equipo o sistema obtiene energía bien a partir de la planta eléctrica o bien de la planta de vapor (definida en el cuaderno 7).



13 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Durante el desarrollo de todo el proyecto se ha hecho uso de una serie de referencias bibliográficas, las cuales se enumeran a continuación:

- [1] Ricardo Alvariño Castro, Juan José Azpíroz y Manuel Meizoso..; *“El proyecto básico del buque mercante”*, Ed. Fondo Editorial de Ingeniería Naval; Pub. 2007.
- [2] Lamb, Thomas (Written by an international group of authorities); *“Ship design and construction”*, Ed. Society of Naval Architects and Marine Engineers; Pub 2004.
- [3] Holtrop, J. y Mennen G.G.J.; *“An approximate power prediction method”*, International Shipbuilding Progress; Pub 1982.
- [4] Antonio Vaquero; *“Teoría del buque. Lecciones de resistencia al avance”*, Departamento de Artes Gráficas E.T.S.I.N.; Edición 2002.
- [5] Antonio Vaquero; *“Teoría del buque. Introducción a la propulsión de buques”*, Departamento de Artes Gráficas E.T.S.I.N.; Edición 2005.
- [6] Capitán I.G. Reigadas; *“El buque tanque”*, Ediciones EDG; Pub 2004.
- [7] David G. M. Watson; *“Practical Ship Design”*, ELSEVIER OCEAN ENG. BOOK SERIES; Pub 1998.
- [8] Guillermo Ricardo Gadea; *“Los buques tanque y su clasificación”*, PETROTECNIA; Abril 2004
- [9] M.A. Meizoso, J.L. Garcés; *“Apuntes de proyectos”*, Departamento de Artes Gráficas E.T.S.I.N.
- [10] G. Pérez; *“Teoría del buque (Máquinas) Tomo II-B”*, Departamento de Artes Gráficas E.T.S.I.N.
- [11] Antonio Baquero; *“Análisis de comportamiento del buque bajo la acción del timón. Aspectos hidrodinámicos y de proyecto”*, Tesis Doctoral; Canal de experiencias hidrodinámicas, el Pardo; Publicación núm. 66. Madrid, Noviembre de 1981.
- [12] Álvaro Zurita y Sáez de Navarrete; *“Introducción al diseño de cámara de máquinas”*, Sección de Publicaciones E.T.S.I.N.
- [13] K. Van Dokkum; *“Ship knowledge, a modern encyclopedia”*, Editorial Dokmar; Pub 2003
- [14] Luis Ramón Núñez Rivas; Apuntes de clase de la asignatura “Instalaciones de vapor”, Año 2006.



- [15] Alfonso López de Asiaín Zabia; Apuntes de clase de la asignatura “Equipo y servicios”, Año 2004.
- [16] Amable López Piñeiro; *“Electricidad aplicada al buque – Diseño general de la planta eléctrica”*, Departamento de Artes Gráficas E.T.S.I.N; Pub 1999.
- [17] Amable López Piñeiro; *“Distribución eléctrica a bordo”*, Departamento de Artes Gráficas E.T.S.I.N; Pub 1999.
- [18] Manuel Meizoso Fernández y José Luis García Garcés. *“Desplazamiento. Cálculo iterativo del peso en rosca y el peso muerto”*, Departamento de publicaciones de la ETSIN; Pub Junio 2000
- [19] Manuales de FORAN60.
- [20] *“Common Structural Rules for Double Hull Oil Tankers (CSR)”* publicadas por IACS y en vigor desde el 1 de Abril de 2006
- [21] Lloyds Register of Shipping; *“Rules and Regulations for the Classification of Ships”*; Edición de 2007
- [22] Convenio SOLAS, Edición consolidada 2004.
- [23] Convenio MARPOL 73/78/90 y enmiendas.
- [24] Convenio Internacional sobre Líneas de Carga de 66/88 (Edición revisada 2005).
- [25] Convenio Internacional de 23 de Junio de 1969, sobre Arqueo de Buques hecho en Londres. En vigor desde 18 de Julio de 1982.
- [26] Lloyd’s Register of Shipping; *Lloyd’s Register Information*; <http://www.lr.org>
- [27] Base de datos de buques de Lloyd’s Register of Shipping; <http://www.sea-web.com>
- [28] Jaime Torroja Méndez. *“Apuntes de proyectos. Volumen 1”*, Departamento de publicaciones de la ETSIN; Pub 1987.
- [29] *“Standards for Oil Tanker Manifolds and Associated Equipment”*, Oil Companies International Marine Forum (OCIMF). 3rd Edition 1981.
- [30] *“Recommendations for Equipment Employed in the Mooring of Ships at Single Point Moorings”*, Oil Companies International Marine Forum (OCIMF). 2nd Edition, 1988.
- [31] *“Shipping and shipbuilding markets. Annual Review 2009”*, Barry Rogliano Salles. Pub 2009.

PROYECTO 1.731
PETROLERO PARA CRUDO 150.000 TPM

CUADERNO 12

PRESUPUESTO



Tutor: D. Francisco Alonso Thous

Realizado por: José Antonio Durango Ramón



CONTENIDOS

1	INTRODUCCIÓN	3
2	NOMENCLATURA	5
3	COSTES VARIOS.....	6
4	ESTRUCTURA	7
4.1	Acero laminado.....	7
4.2	Resto de los materiales del casco	8
4.3	Timón y accesorios.....	8
4.4	Materiales auxiliares de construcción del casco.....	9
4.5	Preparación de superficies	9
4.6	Pintura y control de corrosión	9
4.7	Resumen de costes de la estructura	10
5	EQUIPO, ARMAMENTO E INSTALACIONES	11
5.1	Elementos de fondeo, amarre y remolque.....	11
5.2	Medios de salvamento	11
5.3	Habilitación	13
5.4	Equipos de fonda y hotel	13
5.5	Equipos de acondicionamiento de habitación	14
5.6	Equipos de navegación y comunicaciones	15
5.7	Medios contraincendios convencionales	15
5.8	Instalación eléctrica	16
5.9	Tuberías.....	16
5.10	Accesorios de equipo, armamento e instalaciones	17
5.11	Resumen de costes equipo armamento e instalaciones	19
6	MAQUINARIA AUXILIAR DE CUBIERTA	20
6.1	Equipo de gobierno.....	20
6.2	Equipo de fondeo y amarre	20
6.3	Resumen de costes de la maquinaria auxiliar de cubierta	21
7	INSTALACIÓN PROPULSORA	22
7.1	Maquinaria propulsora principal.....	22
7.2	Línea de ejes	22
7.3	Hélice propulsora.....	23
7.4	Resumen de costes de la instalación propulsora	23
8	MAQUINARIA AUXILIAR.....	24
8.1	Grupos electrógenos	24
8.2	Equipo de circulación, refrigeración y lubricación.....	24
8.3	Equipos generadores de vapor.....	25
8.4	Equipos aire comprimido	25
8.5	Equipos manejo de combustible.....	25
8.6	Equipos de purificación.....	26
8.7	Equipos auxiliares de casco	27
8.8	Equipos sanitarios	27
8.9	Equipos varios	28
8.10	Resumen de costes de maquinaria auxiliar	29
9	CARGOS Y RESPETOS	30
9.1	Cargos y respetos no reglamentarios.....	30
9.2	Respetos especiales.....	30
9.3	Resumen de costes de cargos y respetos.....	30
10	INSTALACIONES ESPECIALES	31



10.1	Equipos especiales de manejo de la carga	31
10.2	Instalaciones y equipos de automatización, telecontrol y alarma	32
10.3	Instalaciones y equipos especiales contraincendios	33
10.4	Instalaciones y equipos especiales de seguridad	34
10.5.	Resumen de costes de instalaciones especiales	35
11	COSTE TOTAL DEL BUQUE	36
12	FINANCIACIÓN	38
13	COSTES DE EXPLOTACIÓN	41
14	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42



1 INTRODUCCIÓN

El presupuesto del buque se va a realizar según el formato de la Dirección General de la Marina Mercante. El presupuesto ha sido desglosado en varias partidas generales, para cada una de las cuales se han detallado los gastos estimados de materiales y la mano de obra de cada equipo o instalación. A continuación se adelanta una descripción de dichas partidas.

- Costes varios de astillero. Esta partida contempla los costes originados en la etapa de proyecto, los costes debidos a la clasificación por el Lloyd's Register, así como los relativos a los certificados necesarios para la operatividad del buque (visados). Además, aquí se consideraran los gastos de pruebas y garantías.
- Casco. Se incluyen en este punto los costes de construcción de la estructura de acero del buque así como los ocasionados por los procesos de soldadura, preparación de superficies y pintado de las mismas.
- Equipo, armamento e instalaciones. Se consideran los costes de armamento de los equipos de fondeo, amarre y remolque junto con los gastos relativos a los distintos medios de salvamento, habilitación, equipos de fonda y hotel, equipos de acondicionamiento de alojamientos, equipos de navegación y comunicaciones, medios contraincendios, así como los gastos en equipos de servicios de carga y los relativos a instalaciones eléctricas, conductos y tuberías. Se consideran además una serie de costes adicionales en accesorios varios.
- Maquinaria auxiliar de cubierta. Se incluyen los costes relativos al equipo de gobierno y a la maquinaria del equipo de fondeo y amarre.
- Instalación propulsora. Se consideran aquí los costes derivados de la instalación a bordo del motor principal, así como los relativos a la disposición de la línea de ejes y la hélice propulsora.
- Maquinaria auxiliar de propulsión. Se consideran en esta parte los costes relativos a la planta de generación eléctrica y los distintos equipos de circulación, refrigeración y lubricación de la planta propulsora y auxiliares. Además se incluyen los costes de la planta de vapor, arranque de motores, manejo de combustible y purificación, así como los costes en equipos auxiliares de casco, equipos sanitarios y varios.
- Cargos y respetos. Se incluyen aquí los costes de los cargos y respetos reglamentarios, no reglamentarios y especiales.
- Instalaciones especiales. Se presupuestan los costes relativos a los equipos para el manejo de cargas líquidas, las instalaciones y equipos de automatización, telecontrol y alarma, los sistemas de estabilización y los sistemas auxiliares de maniobra. Además, se incluyen los costes de las instalaciones, equipos especiales contraincendios y de seguridad.



- Beneficio del astillero. Dada la dependencia del beneficio del astillero respecto a numerosos factores tales como la coyuntura del mercado, la productividad de la mano de obra, las fluctuaciones de los precios de los materiales y equipos,...etc, no existe una referencia válida que tomar. El beneficio de la empresa puede llegar a alcanzar el 10 % ó el 15 % del coste en casos muy favorables, o llegar a ser negativo. Por esto, se decide fijar el beneficio del astillero en el 7 % del coste de construcción del buque. En los cálculos que a continuación se detallan se han utilizado los siguientes valores, obtenidos a partir de un análisis de mercado y por comparación con otros presupuestos de distintos proyectos:
 - Coste medio de la mano de obra: 30 €/h.
 - Precio medio del acero: 600 €/t

En los apartados siguientes se han expuesto los criterios empleados en el cálculo del presupuesto, que están basados en la referencia [28] (Ver Referencias Bibliográficas). Cabe aclarar, que puesto que todas las fórmulas de los costes de esta referencia están dadas en miles de pesetas, se multiplicará por el siguiente factor para obtener el resultado en euros:

$$\frac{1.000}{166,386}$$

Dada la magnitud de los resultados obtenidos, en todos los casos se redondeará al valor entero más cercano. Además de la referencia [28], han sido usados una larga lista de datos definidos en los anteriores cuadernos de proyecto.



2 NOMENCLATURA

Variable	Descripción (unidades)
C	Coste de una partida (€)
c	Coste específico por unidad de peso (€/t)
H	Número de horas
P	Peso (toneladas)
C _b	Coeficiente de bloque
L _R	Eslora reglamentaria según se definió en el cuaderno 6 punto 3.4 (m)
T _{esc}	Calado de escantillonado (m)
h	Altura de un elemento (m)
d	Diámetro (mm)
N	Número de personas a bordo
L	Eslora entre perpendiculares (m)
B	Manga (m)
D	Puntal de trazado (m)
S	Superficie (m ²)
V	Volumen (m ³)
Q	Caudal (m ³ /h)



3 COSTES VARIOS

Se citan a continuación las distintas partidas y subpartidas que se incluyen bajo esta categoría que se refieren principalmente a los costes de diseño y construcción del buque proyecto:

Costes de ingeniería

- Costes de proyecto.
- Ensayos de canal.
- Estudios diversos de consultoría.

Se supone un coste de **600.000 €** para esta partida.

Clasificación, reglamentos y certificados

- Otras entidades reguladoras.
- Inspección de buques.
- Colegio oficial de ingenieros navales.

Se supone un gasto de **550.000 €** para esta partida.

Pruebas y garantías

- Botadura.
- Prácticos y remolcadores.
- Varada.
- Pruebas, ensayos, montadores y supervisores.
- Garantía.

Se supone un gasto de **400.000 €** para esta partida.

Servicios auxiliares durante la construcción.

- Andamiaje.
- Instalaciones provisionales de fuerza y alumbrado.
- Limpieza.

Se supone un gasto de **525.000 €** para esta partida.

Otros costes generales. Entre otros se incluyen los costes del seguro de construcción del buque, se estima en **500.000 €**.

En base a estas suposiciones el coste estimado para la partida de "Costes varios" es de **2.575.000 €**.



4 ESTRUCTURA

4.1 Acero laminado

Para la realización de este análisis, se estimará un precio de chapas de acero naval y perfiles que se disponen en la siguiente tabla, junto con la estimación de los porcentajes del peso del acero para cada calidad empleada:

Calidades aceros	Precio (€/T)	Zonas	% utilizado
B	680	Fondo, doble fondo y "tolva"	26,63%
D	720	Pantoque y quilla	3,01%
A	600	Resto de zonas	70,36%

Una vez conocido el peso neto de acero del buque, se estima el precio del total de esta partida con ayuda de la siguiente expresión:

$$C_{\text{Casco}} = 1,15 \cdot P_{\text{Acero}} \cdot C_{\text{Acero}}$$

Siendo:

- " P_{Acero} " = 22.365,97 t; las toneladas de acero calculadas en el cuadernillo 8, punto 4.
- " C_{Acero} " = 625 €/t; coste ponderado de las chapas de acero naval y perfiles estimado.
- Se ha considerado, en este caso, un factor de un 15 % ya que en el peso del acero bruto debe tenerse en cuenta las pérdidas de acero en los procesos de anidado y los excesos de peso de laminación.

El coste del acero es entonces igual a:

$$C_{\text{Casco}} = 1,15 \cdot 22.365,97 \cdot 625 = \mathbf{16.075.541 \text{ €}}$$

En cuanto al número de horas de mano de obra necesarias, se han estimado con ayuda de la expresión (3.139) de [28], que incluye además, el tiempo necesario para la instalación de polines y palos del casco:

$$H_{\text{casco}} = K_s \cdot P_{\text{Acero}} \cdot (1 + 0,3 \cdot (1 - C_b))$$

Siendo:

- $K_s = 25 \text{ h/t}$; es el índice de mano de obra de casco, cantidad que se ha estimado y que depende del tipo de buque y de la productividad del astillero.
- P_{Acero} , definido en el apartado anterior.
- $C_b = 0,830$; coeficiente de bloque.

El número de horas es por tanto:

$$H_{\text{casco}} = 25 \cdot 22.365,97 \cdot (1 + 0,3 \cdot (1 - 0,830)) = 587.666 \text{ horas}$$

Y el coste de la mano de obra es $C_{\text{mano obra Acero}} = 30 \cdot 587.666 = \mathbf{17.629.976 \text{ €}}$



4.2 Resto de los materiales del casco

En este apartado se hace referencia a las piezas fundidas y forjadas, dispuestas en la estructura del codaste del buque. Su coste se ha estimado mediante la fórmula (3.3):

$$C_{\text{Piezas ff}} = 4 \cdot L_R \cdot T_{\text{esc}} \cdot \frac{1.000}{166,386}$$

Siendo:

- $L_R = 256,028$ m; eslora reglamentaria según cuadernillo 6, punto 3.4.
- $T_{\text{esc}} = 17,80$ m; calado de escantillonado.

Por lo que el coste de estas piezas es:

$$C_{\text{Piezas ff}} = 4 \cdot 256,028 \cdot 17,80 \cdot \frac{1.000}{166,386} = \mathbf{109.560 \text{ €}}$$

El número de horas de mano de obra necesarias se puede calcular con la expresión (3.140):

$$H_{\text{Piezas ff}} = 12 + 30 \cdot \sqrt[3]{L_R} \cdot T_{\text{esc}} = 12 + 30 \cdot \sqrt[3]{256,028} \cdot 17,80 = 3.393 \text{ horas}$$

Y el coste de la mano de obra es $C_{\text{mano obra resto M.}} = 30 \cdot 3.393 = \mathbf{101.784 \text{ €}}$

4.3 Timón y accesorios

El coste aproximado de los materiales del timón, mecha y pinzote se ha obtenido con la expresión (3.4):

$$C_{\text{Timón y accesorios}} = 6 \cdot h_{\text{Timón}}^2 \cdot cu_{\text{Timón}} \cdot \frac{1.000}{166,386}$$

Donde:

- $h_{\text{Timón}} = 12,310$ m, es la altura del timón definida en el Cuaderno 5 - punto 5
- $cu_{\text{Timón}} = 6,224$ m, es la cuerda del timón definida en el Cuaderno 5 - punto 5

Por lo que el coste del timón y accesorios es:

$$C_{\text{Timón y accesorios}} = 6 \cdot 12,310^2 \cdot 6,224 \cdot \frac{1.000}{166,386} = \mathbf{34.011 \text{ €}}$$

El número de horas de mano de obra necesarias se puede calcular con la expresión (3.141) de dicha referencia:

$$H_{\text{Timón y accesorios}} = 100 \cdot h_{\text{Timón}} \cdot cu_{\text{Timón}} = 7.662 \text{ horas}$$

Y el coste de la mano de obra es $C_{\text{mano obra Timón y acc.}} = 30 \cdot 7.662 = \mathbf{229.852 \text{ €}}$



4.4 Materiales auxiliares de construcción del casco

En esta partida se han incluido diversos consumibles y materiales auxiliares empleados en la construcción del casco tales como electrodos, gases de soldadura, materiales y herramientas diversas, etc. Su coste se ha estimado en 50 € por cada tonelada de acero estructural empleado, lo que supone un coste de **1.118.299 €**. En esta partida no procede el cómputo de horas de mano de obra asociadas.

4.5 Preparación de superficies

Debido a las condiciones en las que se encuentra el mercado, el coste de la preparación de superficies, que incluye granallado e imprimación, se estima en 10 €/m² para superficies externas y en 17 €/m² para superficies internas, resultando aproximadamente un total de **1.600.000 €**.

Por su parte, el número de horas de mano de obra se ha fijado en aproximadamente 0,02 h/m², considerando la suma de la superficie exterior de obra viva, obra muerta y la superficie interior, se obtienen unas 18.500 h.

Por tanto, el coste de la mano de obra es $C_{\text{Preparación superficies}} = 30 \cdot 18.500 = \mathbf{555.000 \text{ €}}$

4.6 Pintura y control de corrosión

Esta partida contempla el coste de pintura del exterior e interior del casco, al igual que la pintura de tuberías, el galvanizado y la protección catódica por ánodos de sacrificio. Su coste se estima en base a valores facilitados por astilleros y comparando con otros proyectos, siendo éste de **925.000 €**.

Las horas correspondientes a pintura y protección del casco se estiman en 18.500.

Por tanto, el coste de la mano de obra es $C_{\text{Pintura y c. corrosión}} = 30 \cdot 18.500 = \mathbf{555.000 \text{ €}}$



4.7 Resumen de costes de la estructura

Partida	Coste material (€)	Coste mano de obra (€)	Total partida (€)
Acero del casco	16.075.541	17.629.976	33.705.517
Resto del material casco	109.560	101.784	211.344
Timón y accesorios	34.011	229.852	263.863
Materiales auxiliares de construcción del casco	1.118.229	-	1.118.229
Preparación de superficies	1.600.000	555.000	2.155.000
Pintura y control de la corrosión	925.000	555.000	1.480.000
TOTALES	19.862.341	19.071.612	38.933.953



5 EQUIPO, ARMAMENTO E INSTALACIONES

5.1 Elementos de fondeo, amarre y remolque

Anclas

Puede estimarse un precio de 2.500 €/t de acero para cada una de las anclas dispuestas a bordo. Hay que recordar que hay 3 anclas (una de ellas de respeto) de 16,9 toneladas cada una, siguiendo los requerimientos de la Sociedad de Clasificación. Por tanto:

$$C_{\text{Anclas}} = 3 \cdot 16,9 \cdot 2.500 = \mathbf{126.750 \text{ €}}$$

Cadenas, cables y estachas

Su coste aproximado se puede calcular con la expresión (3.7):

$$C_{\text{Cad,cab y est.}} = 0,025 \cdot k \cdot d_{\text{eslabones}}^2 \cdot l_{\text{cadena}} \cdot \frac{1.000}{166,386}$$

Siendo:

- $k = 0,275$; correspondiente al acero normal.
- $d_{\text{eslabones}} = 114 \text{ mm}$; diámetro del eslabón de la cadena.
- $l_c = 742,5 \text{ m}$; longitud de cada cadena.

Por lo que el coste de esta partida es:

$$C_{\text{Cad,cab y est.}} = 0,025 \cdot 0,275 \cdot 114^2 \cdot 742,5 \cdot \frac{1.000}{166,386} = \mathbf{398.715 \text{ €}}$$

En cuanto al coste de horas de mano de obra, se estima en conjunto según la expresión (3.143), siendo P_{anclas} el peso de las anclas en toneladas.

$$H_{\text{Eq.fondeo amarre y remolque}} = 27 \cdot P_{\text{Anclas}}^{0,4} = 27 \cdot (3 \cdot 16,9)^{0,4} = 130$$

Y el coste de la mano de obra es $C_{\text{mano obra Eq. fondeo amarre y remolque,-}} = 30 \cdot 130 = \mathbf{3.900 \text{ €}}$

5.2 Medios de salvamento

Botes salvavidas

El coste aproximado del bote salvavidas se ha estimado con ayuda de la expresión (3.8), dependiendo del tipo de bote instalado. En este caso el bote es cerrado y contraincendios:



$$C_{\text{bote}} = K_{\text{bs}} \cdot N^{2/3} \cdot \frac{1.000}{166,386}$$

Siendo:

- $K_{\text{bs}} = 700$; por tratarse de bote cerrado y contraincendios.
- $N = 40$ personas la capacidad del bote.

El coste del bote es entonces igual a:

$$C_{\text{bote}} = 700 \cdot 40^{2/3} \cdot \frac{1.000}{166,386} = \mathbf{49.206 \text{ €}}$$

Bote de rescate

Se va disponer de un bote de rescate en la banda de babor y a popa. Su precio aproximado se ha estimado con la expresión (3.8), donde se ha supuesto una capacidad de 6 personas:

$$C_{\text{bote resc.}} = 310 \cdot 6^{2/3} \cdot \frac{1.000}{166,386} = \mathbf{6.152 \text{ €}}$$

Balsas salvavidas

Se ha estimado un precio unitario aproximado para cada una de las balsas dispuestas a bordo (4 balsas con una capacidad unitaria de 20 personas) según la fórmula (3.9):

$$C_{\text{balsas.}} = 4 \cdot 160 \cdot 20^{2/3} \cdot \frac{1.000}{166,386} = \mathbf{4.716 \text{ €}}$$

Dispositivos de lanzamiento de botes y balsas

El coste del dispositivo de lanzamiento del bote salvavidas se ha calculado mediante la expresión (3.10):

$$C_{\text{lanz.bote}} = K_{\text{pb}} \cdot N^{2/3} \cdot \frac{1.000}{166,386}$$

Donde:

- $K_{\text{pb}} = 700$; por tratarse de bote cerrado y contraincendios.
- $N = 40$ personas la capacidad del bote.

Por lo que:

$$C_{\text{lanz bote}} = 660 \cdot 40^{2/3} \cdot \frac{1.000}{166,386} = \mathbf{46.395 \text{ €}}$$

El pescante del bote de rescate se estima en 8.500 €. Por tanto, en total los dispositivos de lanzamiento suponen un coste de **54.895 €**.



Varios

Se han incluido en esta partida el coste de aros, chalecos salvavidas, señales, lanzacabos y elementos varios de salvamento. Su cuantía se ha estimado con ayuda de la expresión:

$$C_{\text{varios}} = (500 + 5 \cdot N) \cdot \frac{1.000}{166,386} = (500 + 5 \cdot 40) \cdot \frac{1.000}{166,386} = \mathbf{4.716 \text{ €}}$$

Siendo N = 40 el número máximo de personas a bordo.

En cuanto a las horas de mano de obra imputables a la instalación de medios de salvamento, se utilizará la expresión (3.144):

$$H_{\text{M.salvamento}} = 300 + 15 \cdot N = 300 + 15 \cdot 40 = 900 \text{ horas}$$

El coste de la mano de obra es $C_{\text{mano obra M salvamento}} = 30 \cdot 900 = \mathbf{27.000 \text{ €}}$

5.3 Habilitación

El coste de esta partida se ha estimado a partir del área total de la habilitación en m² y de la calidad de los materiales empleados. La expresión a utilizar es la (3.12), se considerará que los materiales empleados son de alta calidad:

$$C_{\text{habilitación}} = K_h \cdot S_h \cdot \frac{1.000}{166,386}$$

Donde:

- $K_h = 40$, por emplear alto nivel de calidad.
- $S_h = 1.904 \text{ m}^2$; que es la superficie total de habilitación.

Por tanto el coste de habilitación es:

$$C_{\text{habilitación}} = 40 \cdot 1.904 \cdot \frac{1.000}{166,386} = \mathbf{457.730 \text{ €}}$$

En cuanto al número de horas de mano de obra, se ha considerado de 16 h/m² de alojamientos en la habilitación, obteniéndose 30.464 h. Por tanto, el coste de la mano de obra es $C_{\text{Habilitación}} = 30 \cdot 30.464 = \mathbf{913.920 \text{ €}}$.

5.4 Equipos de fonda y hotel

Cocina y oficinas

Se ha estimado el coste total de materiales utilizando la expresión (3.13). Se ha considerado que el buque de proyecto es un buque de tipo oceánico.



$$C_{\text{Cocina y oficinas}} = K_{\text{co}} \cdot N \cdot \frac{1.000}{166,386} = 100 \cdot 40 \cdot \frac{1.000}{166,386} = 24.040 \text{ €}$$

Gambuzas frigoríficas

El coste total depende del volumen neto de la gambuza y se ha estimado según la expresión:

$$C_{\text{Gambuzas}} = 300 \cdot V_{\text{Gambuza}}^{2/3} \frac{1.000}{166,386}$$

Siendo V_{Gambuza} igual a $27,3 \text{ m}^3$ por lo que el coste del equipo completo de gambuzas es:

$$C_{\text{Gambuzas}} = 300 \cdot 27,3^{2/3} \frac{1.000}{166,386} = 16.347 \text{ €}$$

Equipos de lavandería y varios

El coste de esta partida se ha estimado en 250 € por persona que pernocte a bordo; por tanto es igual a:

$$C_{\text{Lavandería y varios}} = 250 \cdot 40 = 10.000 \text{ €}$$

En cuanto al número de horas de mano de obra dedicadas a la partida de equipos de fonda y hotel, se ha estimado en 115 horas/tripulante, es decir 4.600 horas, por lo que el coste de la mano de obra es $C_{\text{S. fonda y hotel}} = 30 \cdot 4.600 = 138.000 \text{ €}$.

5.5 Equipos de acondicionamiento de habitación

Equipos de calefacción y aire acondicionado

El coste medio de los sistemas de climatización se estima en 70 €/m^2 , por tanto, teniendo en cuenta los espacios de habitación a condicionar, se obtiene un total de **133.280 €**.

Ventilación mecánica

Para los sistemas de ventilación mecánica, que son independientes de los instalados en los equipos de acondicionamiento de aire, el coste ha sido estimado con la ayuda de la expresión (3.15):



$$\begin{aligned}C_{\text{Ventilación}} &= (175 \cdot N^{0,215} + 0,2 \cdot S_h^{0,25}) \cdot \frac{1.000}{166,386} \\&= (175 \cdot 40^{0,215} + 0,2 \cdot 1.904^{0,25}) \cdot \frac{1.000}{166,386} = \mathbf{2.333 \text{ €}}\end{aligned}$$

En cuanto a la estimación del número de horas de mano de obra necesarias para esta partida, se ha tomado un valor de 2 h/m² de alojamientos, obteniéndose 3.808 h. Por tanto, el coste de la mano de obra es:

$$C_{\text{Mano de obra E.acondicionamiento}} = 3808 \cdot 30 = \mathbf{114.240 \text{ €}}$$

5.6 Equipos de navegación y comunicaciones

Equipos de navegación

En esta partida se incluyen los costes de los siguientes equipos: compás magnético, compás giroscópico, piloto automático, radar, radiogoniómetro, receptor de cartas, corredera, sonda, navegación por satélite y equipos auxiliares. Su coste total se ha estimado a partir de catálogos de equipamiento naval y datos facilitados por astilleros, obteniendo un total de **600.000 €**.

Equipo de comunicaciones externas e internas

En el cálculo de el coste aproximado del equipo de comunicaciones externas se han incluido los costes de telegrafía, telefonía y del sistema de comunicación por satélite. Se ha estimado en **130.000 €** debido a que se trata de un equipo de alto nivel. Este valor está en el rango alto recomendado en la ref. [24].

En lo relativo a los costes del equipo de comunicaciones internas se estima en **40.000 €**.

Las horas de mano de obra de la instalación de los equipos de navegación y comunicaciones se obtienen por comparación con otros proyectos similares, este coste se ha estimado en **39.000 €**. Hay que tener en cuenta en este caso, que parte de estos costes de mano de obra están ya incluidos en el coste de material, considerándose “llaves en mano” en la mayoría de los casos.

5.7 Medios contraincendios convencionales

Se va a disponer a bordo de medios contraincendios convencionales en cámara de máquinas y en la zona de tanques de carga siguiendo los requerimientos de seguridad en este tipo de buques. La expresión utilizada es (3.18):

$$C_{CI} = 1,4 \cdot L_{CM} \cdot B_{CM} \cdot D_{CM} \cdot \frac{1.000}{166,386}$$

Siendo:



L_{CM} , B_{CM} y D_{CM} la eslora, manga y puntal máximos de la cámara de máquinas siendo sus respectivos valores: 36,40 m, 47,0 m y 21,8 m. El coste de los medios contraincendios es:

$$C_{CI} = 1,4 \cdot 36,40 \cdot 47,00 \cdot 21,80 \cdot \frac{1.000}{166,386} = 313.810 \text{ €}$$

Las horas de mano de obra se pueden estimar en aproximadamente 5,5 horas por metro de eslora total del buque de proyecto, obteniéndose 1430 h. Por lo que el coste de la mano de obra es $C_{S. CI} = 30 \cdot 1.430 = 42.900 \text{ €}$.

5.8 Instalación eléctrica

Su coste se ha estimado en función de la potencia eléctrica total instalada a bordo de acuerdo con la fórmula (3.28), en este precio se han incluido los cuadros de distribución, baterías, transformadores y cables diversos:

$$C_{\text{Instalación eléctrica}} = 80 \cdot kW^{0,77} \cdot \frac{1.000}{166,386}$$

Siendo kW la potencia eléctrica total instalada a bordo que es 2.808 kW por lo que el precio total de la planta eléctrica es:

$$C_{\text{Instalación eléctrica}} = 80 \cdot 2.808^{0,77} \cdot \frac{1.000}{166,386} = 217.389 \text{ €}$$

Por otro lado, el número de horas de mano de obra se pueden estimar con ayuda de la expresión (3.149) que depende de la potencia total instalada y de la superficie de la habilitación:

$$H_{\text{I. eléctrica}} = 4 \cdot S_h + 6 \cdot kW = 4 \cdot 1.904 + 6 \cdot 2.808 = 24.464 \text{ horas}$$

Por lo que el coste de la mano de obra es $C_{\text{I. Eléctrica}} = 30 \cdot 2.808 = 733.920 \text{ €}$.

5.9 Tuberías

El coste total de los materiales de tuberías y conductos se ha estimado con la fórmula (3.29) de la ref. [24] teniendo en cuenta que el motor principal consume combustible pesado.

$$C_{\text{Tubería}} = [450 \cdot (0,015 \cdot L_{CM} \cdot B_{CM} \cdot D_{CM} + 0,18 \cdot L) + 1,33 \cdot BHP + 0,25 \cdot (3 \cdot L_{CM} \cdot B_{CM} \cdot D_{CM} + V_{\text{carga}} + 4 \cdot S_h)] \cdot \frac{1.000}{166,386}$$

Donde todos los parámetros se han definido anteriormente excepto el volumen de carga que es igual a 170.799 m³ y la potencia al freno del motor propulsor que es igual a 29.171,8 hp, sustituyendo valores el coste de las tuberías del buque es igual a:



$$C_{\text{Tubería}} = 2.539.414 \text{ €}$$

Las horas de mano de obra se han estimado utilizando la expresión (3.150):

$$H_{\text{Tubería}} = 11 \cdot \text{BHP}^{0,85} = 11 \cdot 29.172^{0,85} = 68.645 \text{ horas}$$

Por lo que el coste de la mano de obra es $C_{\text{Tubería}} = 30 \cdot 68.645 = 2.059.362 \text{ €}$.

5.10 Accesorios de equipo, armamento e instalaciones

En este apartado se han incluido una serie de equipos y accesorios cuyos costes van a ser estimados con las expresiones correspondientes de la referencia [24] tal y como se ha venido haciendo con las partidas anteriores, en las siguientes expresiones se utilizarán los siguientes parámetros (a parte de los ya definidos anteriormente):

- Nps: Número de pescantes en servicio se toma igual a 2.
- SWL: Capacidad de las grúas de servicio = 15 toneladas.
- Ng: Número de grúas de servicio.
- Ner: Número de escalas reales, se toma igual a 2.

El precio de las diferentes partidas se obtiene a continuación:

Puertas metálicas, ventanas y portillos (3.30)

$$C_{p \text{ y } p} = 450 \cdot N^{0,48} \cdot \frac{1.000}{166,386} = 450 \cdot 40^{0,48} \cdot \frac{1.000}{166,386} = 15.889 \text{ €}$$

Escaleras, pasamanos y candeleros (3.31)

$$C_{E \text{ y } c} = 3,7 \cdot L^{1,6} \cdot \frac{1.000}{166,386} = 3,7 \cdot 260^{1,6} \cdot \frac{1.000}{166,386} = 162.570 \text{ €}$$

Escotillas de acceso, lumbreras y registros (3.32)

$$C_{E \text{ y } c} = 2,1 \cdot L^{1,5} \cdot \frac{1.000}{166,386} = 2,1 \cdot 260^{1,5} \cdot \frac{1.000}{166,386} = 52.913 \text{ €}$$

Accesorios de fondeo y amarre (3.33)

$$C_{A \text{ y } a} = 3.100 \cdot (L \cdot (B + D))^{0,185} \cdot \frac{1.000}{166,386} = 3,1 \cdot (260 \cdot (47 + 24,4))^{0,185} \cdot \frac{1.000}{166,386} \\ = 114.802 \text{ €}$$

Grúas de servicio y pescantes (3.34)

$$C_{G \text{ y } p} = (350 + 1.400 \cdot \text{Nps} + 1.470 \cdot \text{SWL} \cdot \text{Ng}) \cdot \frac{1.000}{166,386} \\ = (350 + 1.400 \cdot 2 + 1.470 \cdot 15 \cdot 2) \cdot \frac{1.000}{166,386} = 283.978 \text{ €}$$



Escalas reales, planchas de desembarco y escalas de práctico (3.35)

$$\begin{aligned} C_{ErPd y Ep} &= (320 + 225 \cdot (D - 0,03 \cdot L) \cdot Ner) \cdot \frac{1.000}{166,386} \\ &= (320 + 225 \cdot (24,4 - 0,03 \cdot 260) \cdot 2) \cdot \frac{1.000}{166,386} = \mathbf{46.819 \text{ €}} \end{aligned}$$

Toldos, fundas y accesorios de estiba de respeto (3.36)

$$\begin{aligned} C_{TFyAer} &= 6,3 \cdot [L \cdot (B + D)]^{0,68} \cdot \frac{1.000}{166,386} = 6,3 \cdot [260 \cdot (47 + 24,4)]^{0,68} \cdot \frac{1.000}{166,386} \\ &= \mathbf{30.264 \text{ €}} \end{aligned}$$

Las horas de mano de obra se han estimado con la expresión (3.151):

$$H_{Accesorios} = 80 \cdot N + 56 \cdot (L - 15) + 0,9 \cdot L \cdot (B + D) + 2 \cdot L + 50 \cdot Nps + 100 \cdot Ng + 100 \cdot Ner$$

Sustituyendo todos los valores se obtienen 48.765 horas, por lo que el coste de la mano de obra es $C_{Accesorios} = 30 \cdot 48.765 = \mathbf{1.462.950 \text{ €}}$.



5.11 Resumen de costes equipo armamento e instalaciones

Partida	Coste material (€)	Coste mano de obra (€)	Total partida (€)
Eq. fondeo, amarre y remolque	525.465	3.900	529.365
Medios de salvamento	119.685	27.000	146.685
Habilitación	457.730	913.929	1.371.659
Eq. fonda y hotel	50.387	138.000	188.387
Eq. acondicionamiento habitación	135.613	114.240	249.853
Eq. Navegación y comunicaciones	770.000	39.000	809.000
Medios de contraincendios	313.810	42.900	356.710
Instalación eléctrica	217.389	733.920	951.291
Tuberías	2.539.414	2.059.362	4.598.776
Acc. equipo, armamento e instalaciones	707.235	1.462.950	2.170.185
TOTALES	5.836.728	5.535.183	11.371.911



6 MAQUINARIA AUXILIAR DE CUBIERTA

6.1 Equipo de gobierno

El coste se obtiene por comparación con otros proyectos y teniendo en cuenta las características del buque proyecto se fija en **270.000 €**.

Las horas de mano de obra se han estimado en función de la eslora del buque de proyecto siguiendo la expresión (3.152):

$$H_{\text{eq.gobierno}} = 22 \cdot L^{2/3} = 22 \cdot 260^{2/3} = 896 \text{ horas}$$

El coste de la mano de obra es $C_{\text{Eq. gobierno}} = 30 \cdot 896 = \mathbf{26.880 \text{ €}}$.

6.2 Equipo de fondeo y amarre

Molinete

Por comparación con otros proyectos y teniendo en cuenta las características del buque, se estima el coste de los dos molinetes de anclas en **240.000 €**.

Maquinillas de amarre

El coste unitario de las maquinillas de amarre, suponiéndolas de tipo normal se ha estimado en función de la potencia de cada una de ellas según la fórmula (3.41):

$$C_{\text{Maquinillas}} = 7 \cdot 1.300 \cdot P_{\text{ma}}^{2/3} \cdot \frac{1.000}{166,386}$$

Siendo $P_{\text{ma}} = 35,04 \text{ kw}$ la potencia unitaria de cada maquinilla (dimensionadas en el cuaderno 10 punto 3.3). Por tanto el coste de estos equipos es:

$$C_{\text{Maquinillas}} = 7 \cdot 1.300 \cdot 35,05^{2/3} \cdot \frac{1.000}{166,386} = \mathbf{585.756 \text{ €}}$$

El número de horas de mano de obra necesarias para la instalación del equipo de fondeo y amarre en cubierta, se calculan a través de la expresión (3.153):

$$H_{\text{maquinillas}} = L \cdot (1,75 \cdot N^{\circ}_{\text{molinetes}} + 1,7 \cdot N^{\circ}_{\text{maquinillas}}) = 260 \cdot (1,75 \cdot 2 + 1,7 \cdot 7) = 4.004 \text{ horas}$$

El coste de la mano de obra para la instalación a bordo de ambos equipos es $C_{\text{M. auxiliar de cubierta}} = 30 \cdot 4.004 = \mathbf{120.120 \text{ €}}$.



6.3 Resumen de costes de la maquinaria auxiliar de cubierta

Partida	Coste material (€)	Coste mano de obra (€)	Total partida (€)
Equipo de gobierno	270.000	26.880	296.880
Equipos de fondeo y amarre	826.756	120.120	946.876
TOTALES	1.096.756	147.000	1.243.756



7 INSTALACIÓN PROPULSORA

7.1 Maquinaria propulsora principal

El coste aproximado del motor principal (MAN B&W 7 S70MC-C7) que se ha dispuesto en el buque es de **9.300.000 €**.

El número de horas de mano de obra necesarias para la instalación del motor principal se ha estimado con la expresión (3.154):

$$H_{M.principal} = 10 \cdot BHP^{2/3} = 10 \cdot 29.172^{2/3} = 9.476 \text{ horas}$$

El coste de la mano de obra para la instalación e integración del motor principal es $C_{Motor principal} = 30 \cdot 9.476 = \mathbf{284.291 \text{ €}}$.

7.2 Línea de ejes

Se han incluido bajo este concepto una serie de equipos e instalaciones relacionados con el montaje y funcionamiento de la línea de ejes entre el motor principal y la hélice propulsora. Los costes serán estimados con las siguientes expresiones:

Acoplamiento elástico (3.44):

$$C_{Acoplamiento e.} = 285 \cdot \frac{BHP}{rpm} \cdot \frac{1.000}{166,386} = 285 \cdot \frac{29.172}{91} \cdot \frac{1.000}{166,386} = \mathbf{549.102 \text{ €}}$$

Ejes y chumaceras (3.47):

$$C_{Ejes y chumaceras} = 0,6 \cdot BHP \cdot \frac{1.000}{166,386} = 0,6 \cdot 29.172 \cdot \frac{1.000}{166,386} = \mathbf{105.196 \text{ €}}$$

Bocina y cierres (3.48):

$$C_{Bocina y cierres} = 1,25 \cdot BHP^{0,85} \cdot \frac{1.000}{166,386} = 1,25 \cdot 29.172^{0,85} \cdot \frac{1.000}{166,386} = \mathbf{46.883 \text{ €}}$$

Freno y torsiómetro (3.49):

$$C_{Freno y torsiómetro} = \mathbf{12.621 \text{ €}}$$

Las horas de mano de obra necesarias para la instalación de estos elementos se estiman en base a (3.155):

$$H_{Línea de ejes} = 0,16 \cdot BHP = 0,16 \cdot 29.172 = 4.668 \text{ horas}$$

El coste de la mano de obra es $C_{Elementos línea de ejes} = 30 \cdot 4.668 = \mathbf{140.026 \text{ €}}$.



7.3 Hélice propulsora

El coste de la hélice propulsora de paso fijo instalada en el buque proyecto se ha estimado en **240.000 €**. El número de horas de mano de obra se pueden calcular de acuerdo con la fórmula (3.156):

$$H_{\text{Hélice propulsora}} = 240 + 0,004 \cdot \text{BHP} = 240 + 0,004 \cdot 29.172 = 357 \text{ horas}$$

El coste de la mano de obra es $C_{\text{Hélice propulsora}} = 30 \cdot 357 = \mathbf{10.701 \text{ €}}$.

7.4 Resumen de costes de la instalación propulsora

Partida	Coste material (€)	Coste mano de obra (€)	Total partida (€)
Maquinaria propulsora principal	9.300.000	284.291	9.584.291
Línea de ejes	713.802	140.026	853.828
Hélice propulsora	240.000	10.701	250.701
TOTALES	10.253.802	435.018	10.688.820



8 MAQUINARIA AUXILIAR

8.1 Grupos electrógenos

El coste de los grupos generadores puede ser calculado de manera aproximada según la expresión (3.50):

$$C_{\text{gen}} = 3,7 \cdot \left[42 \cdot d_{\text{cilindros}} \cdot \frac{N_c^{0,8}}{\text{rpm}} + 4.000 \cdot \left(\frac{\text{kW}}{\text{rpm}} \right)^{2/3} \right] \cdot \frac{1.000}{166,386}$$

Siendo:

$d_{\text{cilindros}}$ es igual a 160 mm.

$N_c = 98$ número de cilindros de cada grupo generador.

kW = 835 kW; Es la potencia eléctrica del generador.

rpm = 1.200.

El coste total de los generadores es:

$$C_{\text{gen}} = 3,7 \cdot \left[42 \cdot 160 \cdot \frac{8^{0,8}}{1.200} + 4.000 \cdot \left(\frac{835}{1.200} \right)^{2/3} \right] \cdot \frac{1.000}{166,386} = 70.504 \text{ €}$$

Las horas de mano de obra correspondientes a esta partida se han estimado con ayuda de la expresión (3.157):

$$H_{\text{Grupos electrógenos}} = 52 \cdot \text{kW}_{\text{Totales}}^{0,43} = 52 \cdot 2.808^{0,43} = 1.581 \text{ horas}$$

El coste de la mano de obra es $C_{\text{Grupos electrógenos}} = 30 \cdot 1.581 = 47.417 \text{ €}$.

8.2 Equipo de circulación, refrigeración y lubricación

El coste de esta partida se ha estimado de acuerdo con la expresión (3.54) que es función de la potencia del motor propulsor:

$$C_{\text{E.cir,ref y lub}} = 1,2 \cdot \text{BHP} \cdot \frac{1.000}{166,386} = 1,2 \cdot 29.172 \cdot \frac{1.000}{166,386} = 210.393 \text{ €}$$

El número de horas de mano de obra se puede calcular de forma aproximada con la expresión (3.158):

$$H_{\text{E.cir,ref y lub}} = 230 + 0,18 \cdot \text{BHP} = 230 + 0,18 \cdot 29.172 = 5.481 \text{ horas}$$

El coste de la mano de obra es $C_{\text{E. cir, ref y lub}} = 30 \cdot 5.481 = 164.429 \text{ €}$.



8.3 Equipos generadores de vapor

Su coste aproximado se puede calcular según la fórmula (3.55) y depende del número y tipo de calderas instaladas además de sus características técnicas:

$$C_{\text{gen}} = 2,5 \cdot [N_{\text{vg}} \cdot Q_{\text{vg}} + 0,8 \cdot N_{\text{gr}} \cdot Q_{\text{gr}}] \cdot \frac{1.000}{166,386}$$

Donde:

$N_{\text{vg}} = 1$; número de calderetas de gases de escape.

$Q_{\text{vg}} = 3.696$ kgv/h ; producción de vapor de la caldereta de gases de escape.

$N_{\text{gr}} = 2$; número de calderas principales.

$Q_{\text{gr}} = 42.000$ kgv/h ; producción de vapor de cada caldera principal.

$$C_{\text{gen}} = 2,5 \cdot [1 \cdot 3.696 + 0,8 \cdot 2 \cdot 42.000] \cdot \frac{1.000}{166,386} = \mathbf{1.065.234 \text{ €}}$$

El coste aproximado de la mano de obra total de la instalación se toma igual a **650.000 €**.

8.4 Equipos aire comprimido

Su coste depende del número de compresores y del caudal en m³/hora suministrado por los mismos, ello se indica en el cuaderno 7 y es igual a 480 m³/h a 30 bares. Puede ser calculado de forma aproximada con ayuda de la fórmula (3.56):

$$C_{\text{Aire comprimido}} = 13 \cdot N^{\circ}_{\text{Compresores}} \cdot \text{Cap} \cdot \frac{1.000}{166,386} = 13 \cdot 4 \cdot 480 \cdot \frac{1.000}{166,386} = \mathbf{150.013 \text{ €}}$$

El número de horas correspondientes a la instalación de estos equipos pueden estimarse con (3.160):

$$H_{\text{A.comprimido}} = N^{\circ}_{\text{Compresores}} \cdot (40 + 3,5 \cdot \text{Cap}) = 4 \cdot (40 + 3,5 \cdot 480) = 6.880 \text{ horas}$$

El coste de la mano de obra es $C_{\text{A.comprimido}} = 30 \cdot 6.880 = \mathbf{206.400 \text{ €}}$.

8.5 Equipos manejo de combustible

El coste de todos estos equipos se puede calcular con ayuda de la expresión (3.57), donde hay que considerar el número de bombas de trasiego de combustible además del caudal total en m³/hora (todos estos datos aparecen en el cuaderno 7 punto 7.1):

$$\begin{aligned} C_{\text{E.combustible}} &= [7,3 \cdot N^{\circ}_{\text{bombas}} \cdot Q_{\text{total}} + 3,5 \cdot \text{BHP}] \cdot \frac{1.000}{166,386} \\ &= [7,3 \cdot 13 \cdot 115,78 + 3,5 \cdot 29.172] \cdot \frac{1.000}{166,386} = \mathbf{679.682 \text{ €}} \end{aligned}$$



El número de horas de mano de obra necesarias para su montaje a bordo puede ser hallado de forma aproximada con la expresión:

$$H_{\text{Combustible}} = 0,27 \cdot \text{BHP} = 0,27 \cdot 29.172 = 7.876 \text{ horas}$$

El coste de la mano de obra es $C_{\text{Combustible}} = 30 \cdot 7.876 = 236.293 \text{ €}$.

8.6 Equipos de purificación

En esta partida se incluyen los siguientes conceptos :

El coste de los equipos de purificación centrífugos para aceite y combustible, junto con el de los calentadores que llevan aparejados, se ha estimado con ayuda de la expresión (3.58):

$$C_{\text{E.purificación}} = [1.630 \cdot N_{\text{pa}} \cdot Q_{\text{pa}} + 860 \cdot N_{\text{pf}} \cdot Q_{\text{pf}}] \cdot \frac{1.000}{166,386}$$

Donde:

$N_{\text{pa}} = 2$; Número de purificadoras de aceite.

$N_{\text{pf}} = 2$; Número de purificadoras de fuel.

$Q_{\text{pa}} = 2,96 \text{ m}^3/\text{h}$, Caudal unitario de las purificadoras de aceite.

$Q_{\text{pf}} = 8,50 \text{ m}^3/\text{h}$; Caudal unitario de las purificadoras de fuel.

La información se ha obtenido de los puntos 7.1.1 y 7.2.1 del cuaderno 7 de proyecto, el coste de estos equipos es por tanto igual a:

$$C_{\text{E.purificación}} = [1.630 \cdot 2 \cdot 2,96 + 860 \cdot 2 \cdot 8,50] \cdot \frac{1.000}{166,386} = 24.270 \text{ €}$$

El coste del equipo de manejo de lodos, trasiegos y derrames se ha estimado en conjunto en unos **4.000 €**.

El número de horas necesarias para la instalación de estos equipos se estima con (3.162):

$$\begin{aligned} H_{\text{E.pur.}} &= (300 + 0,056 \cdot \text{BHP}) \cdot (N_{\text{pa}} + N_{\text{pf}}) = (300 + 0,056 \cdot 29.172) \cdot (2 + 2) \\ &= 7.735 \text{ horas} \end{aligned}$$

Lo que supone un coste total de mano de obra de $C_{\text{E.pur.}} = 30 \cdot 7.735 = 232.050 \text{ €}$.



8.7 Equipos auxiliares de casco

Dentro de esta partida se han incluido las bombas contraincendios, de lastre, de servicios generales y de sentinas.

El coste de estos equipos se estima en **450.000 €** obtenido por comparación con otros proyectos.

Además hay que considerar las separadoras de sentinas junto con sus bombas y alarmas correspondientes, cuyo coste se estima con la fórmula (3.62):

$$C_{S, \text{sent}} = [26 \cdot GT^{0,5} + 850] \cdot \frac{1.000}{166,386} = [26 \cdot 81.155^{0,5} + 850] \cdot \frac{1.000}{166,386} = \mathbf{49.624 \text{ €}}$$

Siendo GT el arqueado bruto que fue calculado en el cuaderno 4 de proyecto.

El número de horas de mano de obra necesarias para la instalación de estos equipos puede obtenerse de forma aproximada con la expresión (3.163):

$$H_{E, \text{aux de casco}} = 420 + 0,47 \cdot L \cdot (B + D) = 9.145 \text{ horas}$$

Lo que supone un coste total de $C_{E, \text{aux de casco}} = 30 \cdot 9.145 = \mathbf{274.352 \text{ €}}$.

8.8 Equipos sanitarios

Su coste puede calcularse mediante las siguientes expresiones:

Generadores de agua dulce (3.63):

$$C_{G, \text{a. dulce}} = 230 \cdot Q_{\text{generación}} \cdot N^{\circ} \text{ gen} \cdot \frac{1.000}{166,386}$$

Donde $Q_{\text{generación}}$ es la capacidad de generación en t/día de los equipos que es igual a 15 t/día (Cuaderno 7 punto 7.5) por lo que el coste para 2 generadores es:

$$C_{G, \text{a. dulce}} = 230 \cdot 15 \cdot 2 \cdot \frac{1.000}{166,386} = \mathbf{41.470 \text{ €}}$$

Planta de tratamiento de aguas residuales (3.65):

$$C_{\text{Planta a. residuales}} = 440 \cdot N^{\circ} \text{ eq.}^{0,4} \cdot \frac{1.000}{166,386} = 440 \cdot 1^{0,4} \cdot \frac{1.000}{166,386} = \mathbf{2.644 \text{ €}}$$

Incinerador de residuos sólidos (3.66):

$$C_{\text{Incinerador}} = 1.900 \cdot N^{\circ} \text{ eq.}^{0,2} \cdot \frac{1.000}{166,386} = 1.900 \cdot 1^{0,2} \cdot \frac{1.000}{166,386} = \mathbf{11.419 \text{ €}}$$



El número de horas de mano de obra necesarias para la instalación de estos equipos se ha estimado de acuerdo con la fórmula (3.164):

$$\begin{aligned} H_{E.\text{sanitarios.}} &= 280 + 8 \cdot N_{G.a.d.} + 200 + 3,5 \cdot N_{P.a.res.} + 410 + 3,9 \cdot N_{Inc} + 400 = \\ &= 280 + 8 \cdot 2 + 200 + 3,5 \cdot 1 + 410 + 3,9 \cdot 1 + 400 = 1.314 \text{ horas} \end{aligned}$$

Lo que supone un coste total de mano de obra de $C_{E.\text{sanitarios}} = 30 \cdot 1.314 = 39.402 \text{ €}$.

8.9 Equipos varios

El coste de los distintos elementos que integran esta partida puede aproximarse con estas fórmulas:

Ventiladores de la cámara de máquinas, estos equipos están descritos en el punto 7.10 del cuaderno 7, y su coste se obtiene a través de (3.67):

$$\begin{aligned} C_{\text{ventiladores}} &= (1,25 \cdot Q_{\text{total ventilación}} + 0,92 \cdot BHP^{0,5}) \cdot \frac{1.000}{166,386} \\ &= (1,25 \cdot 554.705^{0,5} + 0,92 \cdot 29.172^{0,5}) \cdot \frac{1.000}{166,386} = 6.627 \text{ €} \end{aligned}$$

Equipos de desmontaje (3.68):

$$C_{\text{Desmontaje}} = 0,14 \cdot BHP \cdot \frac{1.000}{166,386} = 0,14 \cdot 29.172 \cdot \frac{1.000}{166,386} = 24.505 \text{ €}$$

Equipamiento taller de máquinas: Su coste se estima en **130.000 €**.

El número de horas de mano de obra que son necesarias para la instalación e integración de estos equipos se puede calcular de manera aproximada con la expresión (3.165):

$$H_{E.\text{varios.}} = 950 + 0,005 \cdot BHP = 950 + 0,005 \cdot 29.172 = 1.096 \text{ horas}$$

Lo que supone un coste total de mano de obra de $C_{E.\text{varios}} = 30 \cdot 1.096 = 32.876 \text{ €}$.



8.10 Resumen de costes de maquinaria auxiliar

Partida	Coste material (€)	Coste mano de obra (€)	Total partida (€)
Grupos electrógenos	70.504	47.417	117.921
Eq. circulación, refrigeración y lubricación	210.393	164.429	374.822
Eq. generadores de vapor	1.065.234	650.000	1.715.234
Eq. Aire comprimido	150.013	206.400	356.413
Eq. manejo de combustible	679.682	236.293	915.975
Eq. purificación	28.270	232.050	260.320
Eq. auxiliares de casco	499.624	274.352	773.976
Eq. sanitarios	55.533	39.402	94.935
Equipos varios	161.132	32.876	194.008
TOTALES	2.920.385	1.883.219	4.803.604



9 CARGOS Y RESPETOS

9.1 Cargos y respetos no reglamentarios

Los costes derivados de los cargos y respetos reglamentarios se suelen incluir en el de los correspondientes equipos; por lo que no cabe considerarlos. Sin embargo, los costes de los cargos y respetos no reglamentarios se han estimado en **60.000 €**.

9.2 Respetos especiales

Hélice de respeto: Este coste se ha obtenido en función del peso y precio unitario de la hélice de servicio, ya que ambas hélices son idénticas en la mayoría de los casos, por tanto el coste de la hélice de respeto al igual que la de servicio es **240.000 €**.

Eje de cola de respeto: Se puede calcular de forma aproximada con la expresión (3.70):

$$C_{\text{eje respeto}} = 0,4 \cdot \text{BHP} \cdot \frac{1.000}{166,386} = 0,4 \cdot 29.172 \cdot \frac{1.000}{166,386} = \mathbf{70.130 \text{ €}}$$

El número de horas de mano de obra a considerar en esta partida completa se ha estimado según la expresión (3.166):

$$H_{\text{Cargos y respetos}} = \text{BHP}^{2/3} + 2 \cdot L + 100 = 29.172^{2/3} + 2 \cdot 260 + 100 = 1.478 \text{ horas}$$

Lo que supone un coste total de mano de obra de $C_{\text{Cargos y resp.}} = 30 \cdot 1.478 = \mathbf{44.329 \text{ €}}$.

9.3 Resumen de costes de cargos y respetos

Partida	Coste material (€)	Coste mano de obra (€)	Total partida (€)
Hélice de respeto	60.000	-	60.000
Eje de cola de respeto	310.130	44.329	354.459
TOTALES	370.130	44.329	414.459



10 INSTALACIONES ESPECIALES

10.1 Equipos especiales de manejo de la carga

Equipos para el manejo de líquidos

El coste de las bombas y elementos que componen esta partida se puede calcular con ayuda de las siguientes expresiones:

Turbobombas de descarga (3.82):

$$C_{B.\text{descarga}} = 4,6 \cdot 1,4 \cdot Q_b^{0,52} \cdot p_{\text{descarga}} \cdot N_b \cdot \frac{1.000}{166,386}$$

Donde (Datos obtenidos del cuaderno 7 punto 7.8.2):

$Q_b = 3.500 \text{ m}^3/\text{h}$; Caudal unitario de cada bomba.

$p_{\text{descarga}} = 140 \text{ m.c.a.}$; Presión de las bombas.

$N_b = 3$; Número de bombas. Con estos datos se obtiene el coste de las bombas:

$$C_{B.\text{descarga}} = 4,6 \cdot 1,4 \cdot 3.500^{0,52} \cdot 140 \cdot 3 \cdot \frac{1.000}{166,386} = \mathbf{566.114 \text{ €}}$$

Al coste de las bombas centrífugas hay que añadir el del sistema de cebado, que puede estimarse con ayuda de la expresión (3.83):

$$C_{S.\text{cebado}} = 6,8 \cdot (N_b \cdot Q_b)^{0,9} \cdot \frac{1.000}{166,386} = 6,8 \cdot (3 \cdot 3.500)^{0,9} \cdot \frac{1.000}{166,386} = \mathbf{170.005 \text{ €}}$$

El número de horas de mano de obra necesarias para la instalación de estos equipos se estiman con (3.173):

$$H_{B.\text{descarga}} = 210 \cdot 1,1 \cdot 1,1 \cdot N_b = 210 \cdot 1,1 \cdot 1,1 \cdot 3 = 763 \text{ horas}$$

Lo que supone un coste total de mano de obra de $C_{B.\text{descarga.}} = 30 \cdot 763 = \mathbf{22.869 \text{ €}}$.

Bombas y eyectores de achique o agotamiento (3.87):

$$C_{S.\text{agotamiento}} = 5 \cdot Q_A^{2/3} \cdot p_A^{0,35} \cdot N_A \cdot \frac{1.000}{166,386}$$

Donde:

$Q_A = 1.700 \text{ m}^3/\text{h}$; Es el caudal total de los sistemas de agotamiento y achique.

$p_A = 140 \text{ m.c.a.}$; Es la presión de trabajo.

$N_A = 3$; Es el número total de elementos (2 eyectores + 1 bomba de agotamiento)

$$C_{S.\text{agotamiento}} = 5 \cdot 1.700^{2/3} \cdot 140^{0,35} \cdot 3 \cdot \frac{1.000}{166,386} = \mathbf{72.402 \text{ €}}$$



Las horas de mano de obra correspondientes a la instalación de las bombas y eyectores de achique pueden estimarse en base a 210 h/unidad, obteniéndose un total de 630 horas, Lo que supone un coste total de mano de obra de $C_{S.agotamiento} = 30 \cdot 630 = 18.900 \text{ €}$.

Equipos de limpieza de tanques de carga

El coste de las máquinas de limpieza fija se puede estimar con la ayuda de la expresión (3.89):

$$C_{E.limpieza} = 0,97 \cdot L \cdot B \cdot \frac{1.000}{166,386} = 0,97 \cdot 260 \cdot 47 \cdot \frac{1.000}{166,386} = 71.240 \text{ €}$$

Las horas de mano de obra correspondientes a la instalación de las máquinas de limpieza pueden estimarse con la ecuación (3.174):

$$H_{E.limpieza} = 0,15 \cdot L^{1,05} \cdot B = 0,15 \cdot 260^{1,05} \cdot 47 = 2.420 \text{ horas}$$

Lo que supone un coste total de mano de obra de $C_{B.descarga} = 30 \cdot 2.420 = 72.616 \text{ €}$.

Tubería y valvulería de carga

En buques de transporte de carga líquida distintos a los LPG, el coste de esta partida puede considerarse igual a la tercera parte del coste de las bombas de descarga, bombas de lavado de tanques y bombas de agotamiento, siendo por tanto su valor 263.928 €.

En cuanto al coste en concepto de mano de obra de esta partida, se ha estimado en un 17 % de los costes totales mencionados en el párrafo anterior, es decir 44.868 €.

Instalaciones eléctricas especiales, instrumentación y control

En buques de transporte de carga líquida distintos a los LPG, el coste de esta partida se ha estimado en una quinta parte del coste de las bombas de descarga, lavado de tanques y agotamiento, siendo por tanto su valor 175.953 €.

En cuanto al coste global en concepto de mano de obra puede considerarse que supone aproximadamente un 7,5 % del total de los costes de los equipos que se han descrito en el párrafo anterior, es decir 13.196 €.

10.2 Instalaciones y equipos de automatización, telecontrol y alarma

En esta partida se engloban los costes de los equipos instalados en la cabina y en los puestos de control, al igual que los dispositivos de automatización y control instalados a bordo del buque. Su coste se estima en 62.000 €

Los costes de mano de obra de esta partida están incluidos en los costes de adquisición de material (entregas llave en mano).



10.3 Instalaciones y equipos especiales contraincendios

El coste de estas instalaciones y equipos puede estimarse con ayuda de las siguientes expresiones:

Instalaciones contraincendios de carácter estructural (3.109):

Su coste se evalúa en función de la superficie de alojamientos “S_h”, que para el caso del buque proyecto es 1.904 m²:

$$C_{S.I \text{ estructural}} = (765 + 0,870 \cdot S_h) \cdot \frac{1.000}{166,386} = (765 + 0,870 \cdot 1.904) \cdot \frac{1.000}{166,386} \\ = \mathbf{14.553 \text{ €}}$$

Las horas de mano de obra pueden estimarse con la expresión (3.188):

$$H_{S.I \text{ estructural}} = 1.000 + 0,4 \cdot S_h = 1.000 + 0,4 \cdot 1.904 = 1.762 \text{ horas}$$

Lo que supone un coste total de mano de obra de $C_{S.I. \text{ estructural}} = 30 \cdot 1.762 = \mathbf{52.848 \text{ €}}$.

Instalaciones fijas de contraincendios en cubierta (3.111):

$$C_{I.fijas \text{ cub.}} = 1,82 \cdot (1 + 0,0013 \cdot L) \cdot L \cdot B \cdot \frac{1.000}{166,386} \\ = 1,82 \cdot (1 + 0,0013 \cdot 260) \cdot 260 \cdot 47 \cdot \frac{1.000}{166,386} = \mathbf{178.847 \text{ €}}$$

Las horas de mano de obra pueden estimarse con la expresión (3.190):

$$H_{S.I.fijas \text{ cub.}} = 0,39 \cdot L^{1,1} \cdot B = 0,39 \cdot 260^{1,1} \cdot 47 = 8.311 \text{ horas}$$

Lo que supone un coste total de mano de obra de $C_{S.I. \text{ fijas cub}} = 30 \cdot 8.311 = \mathbf{249.318 \text{ €}}$.

Sistema de rociadores en acomodación (3.112):

$$C_{S.rociadores} = 0,665 \cdot S_h \cdot \frac{1.000}{166,386} = 0,665 \cdot 1.904 \cdot \frac{1.000}{166,386} = \mathbf{7.610 \text{ €}}$$

Las horas de mano de obra pueden estimarse con la expresión (3.191):

$$H_{S.rociadores} = 0,35 \cdot S_h = 0,35 \cdot 1.904 = 667 \text{ horas}$$

Lo que supone un coste total de mano de obra de $C_{S.rociadores} = 30 \cdot 667 = \mathbf{19.992 \text{ €}}$.



Equipos detectores de incendios en cámara de máquinas (3.114):

Por comparación con otros proyectos y teniendo en cuenta las características del buque proyecto, se estima el coste en **46.000 €**.

Las horas de mano de obra pueden estimarse con la expresión (3.193):

$$H_{E.\text{detección cm}} = 65 \cdot (L_{CM} \cdot D_{CM} \cdot B)^{0,25} + 190 = 65 \cdot (36,4 \cdot 24,4 \cdot 47)^{0,25} + 190 \\ = 1.119 \text{ horas}$$

Lo que supone un coste total de mano de obra de $C_{E \text{ detección cm}} = 30 \cdot 1.119 = 33.573 \text{ €}$.

10.4 Instalaciones y equipos especiales de seguridad

El coste de estas instalaciones y equipos especiales de seguridad puede estimarse con ayuda de las siguientes expresiones:

Equipos de protección del personal (3.115):

$$C_{E.pp.} = 550 \cdot 0,5 \cdot N^{2/3} = 550 \cdot 0,5 \cdot 40^{2/3} = 146.667 \text{ €}$$

Equipo de detección de gases (3.116):

$$C_{E.pp.} = 8.000 \cdot N \cdot \frac{1.000}{166,386} = 8.000 \cdot 2 \cdot \frac{1.000}{166,386} = 96.162 \text{ €}$$

Planta de gas inerte:

su coste se estima en **150.000 €**.

En cuanto a los costes de mano de obra se contabilizarán únicamente las horas de instalación de la planta de gas inerte puesto que en las otras dos partidas se considera que están incluidos en los gastos de adquisición del material. Este coste se estima en **250.000 €**.



10.5. Resumen de costes de instalaciones especiales

Partida	Coste material (€)	Coste mano de obra (€)	Total partida (€)
Equipos manejo de la carga	1.319.642	172.449	1.492.091
I. de automatización, telecontrol y alarma	62.000	-	62.000
Instalaciones especiales de C.I.	247.010	355.731	602.741
Instalaciones y E. especiales de seguridad	392.829	250.000	642.829
TOTALES	2.021.481	778.180	2.799.661



11 COSTE TOTAL DEL BUQUE

Los costes obtenidos a lo largo de los puntos anteriores se resumen en la siguiente tabla:

COSTES VARIOS	2.575.000 €
ESTRUCTURA	38.933.953 €
EQUIPO, ARMAMENTO E INSTALACIONES	11.371.911 €
MAQUINARIA AUXILIAR DE CUBIERTA	1.243.756 €
INSTALACIÓN PROPULSORA	10.688.820 €
MAQUINARIA AUXILIAR	4.803.604 €
CARGOS Y RESPETOS	414.459 €
INSTALACIONES ESPECIALES	2.799.661 €
TOTAL COSTE DE CONSTRUCCIÓN	72.831.164 €
BENEFICIO ASTILLERO	5.098.181 €
PRECIO TOTAL DEL BUQUE	77.929.345 €
PRECIO DE MERCADO (16% I.V.A.)	90.398.041 €

Por lo que el coste del buque en el mercado rondaría los 90,5 millones de Euros según los criterios que se han ido describiendo.

Esta cifra debe tomarse como un valor meramente estimativo puesto que para su obtención se han usado expresiones publicadas hace más de 20 años, las cuales podrían quedar hoy en día obsoletas debido tanto a la evolución de los precios como de los procesos constructivos.

En la revista "Ingeniería Naval" de junio 2008 (página 10, tabla 2) vienen expuestos los precios de nuevas construcciones desde 1998 a abril de 2008. Con respecto a los buques petroleros para los distintos tamaños se tienen los siguientes datos:

TIPO	TPM medio	Precio nuevas construcciones en Millones de dólares (US\$)
VLCC	300.000	153 / 155
Suezmax	150.000	94 / 95
Aframax	110.000	76 / 77
Panamax	70.000	63 / 65
Handy	47.000	51 / 52

Se observa que según estos datos un petrolero de crudo SUEZMAX (150000TPM), tenía un precio de mercado en torno a los 95 millones de dólares. Aplicando un cambio de 1 € = 1,4 \$, el precio de esta clase de buques estaría en torno a los 68 millones de €. Debido a la actual situación de crisis económica es probable que los precios de estos buques sean aún más bajos.



Tomando esta información como referencia, el precio que se ha obtenido para el buque proyecto parece muy elevado, con una desviación de unos 22,5 millones de euros, lo cual es una cifra enorme. Ello puede ser debido a que el número de horas de mano de obra obtenido es muy elevado (929.818) que son resultado de la utilización de expresiones antiguas, del mismo modo también se debe a la desviación del precio de materiales y equipos.

Un siguiente paso para refinar este presupuesto sería la realización de un exhaustivo análisis de suministradores, empresas auxiliares y astilleros, pero eso es algo que se escapa a los objetivos del presente proyecto.



12 FINANCIACIÓN

La forma de financiar un buque depende de factores muy diversos como pueden ser la capacidad económica de la empresa compradora, el acuerdo con la entidad financiera, el país donde se realice la operación y su normativa en materia fiscal al respecto, etc. Pese a tal libertad en este sentido, en este apartado se pretende proponer un posible modelo de financiación, con la normativa actualmente en vigor y lo más realista posible.

Dado el tipo de inversión de que se está tratado, característico tanto por su cuantía como por los riesgos económicos que lleva asociado, existen una serie de mecanismos de apoyo, bien sea a modo de ayuda estatal o en forma de condiciones fiscales favorables, que facilitan el desarrollo de la operación financiera.

Dadas las características particulares de un buque como bien mueble con capacidad de desplazamiento y, a su vez, de grandes dimensiones y elevadísimos costes de inversión, el mecanismo de financiación adquiere tintes muy particulares respecto a otros tipos de bienes. Debido a los riesgos económicos que implica el negocio naviero, la entidad financiera que proporciona el crédito al armador, no suele asumir el 100% del coste del buque. De esta forma el pago del mismo suele desglosarse en dos partidas:

- El armador aporta una parte del precio del buque con sus fondos propios. Con frecuencia esto asciende al 20% del precio del buque.
- El resto (80%) es aportado con financiación externa, por medio de un crédito. El mecanismo de concesión del crédito depende por una parte del riesgo que ha de asumir la empresa financiera y por otra de las garantías que a ésta se le ofrezcan, estas garantías serán de dos tipos:
 - Hipotecarias: el crédito se afianzará primordialmente con la hipoteca, y contemplará la solvencia profesional del solicitante y la rentabilidad de la explotación, es decir, cuando el propio buque financiado se constituye como garantía.
 - Complementarias: cuando la hipoteca no es suficiente para garantizar la totalidad del crédito, la entidad de financiación podrá solicitar la aportación de garantías complementarias del propio armador, así como garantías de cualquier tipo aportadas por otra sociedad o entidad ajena al mismo.

La garantía hipotecaria encuentra los problemas derivados de la movilidad del buque, la posibilidad de cambiar de nombre, de registro, etc. Actualmente no suele cubrir más del 55 ó 60% de la garantía hipotecaria; el resto debe ser cubierto por garantías complementarias. Éstas pueden ser los propios contratos de fletamento o arrendamiento de que disponga el armador o bien otra serie de apoyos por parte de entidades de prestigio. En relación a estas últimas, existe un sistema de garantías con respaldo estatal o avales estatales que, según establece la Unión Europea, no deben suponer gasto para el propio estado (lo que se denominan condiciones "Pure Cover"). Para ello, se ofrecen a cambio del pago de una cierta prima (según estudios realizados por el Foro de las Industrias Marítimas, deberá ser del 1% ó 1,5% del valor vivo de la garantía recibida, según los casos), sin que dicho aval estatal pueda superar, en



ningún caso, el 27% del precio total del buque. Anualmente se establece un límite máximo para el total de los avales estatales.

Se considerará que el armador dispone de un contrato de transporte de crudo, por 10 años de duración que, por parte de la entidad financiera, se ha estimado pueden cubrir el 15% del valor del buque y el resto se ha conseguido garantizar por medio de avales estatales.

Además de los mencionados avales, existen otros modos de ayuda a la financiación como son los incentivos fiscales a la inversión de buques y, más concretamente, el mecanismo de amortización acelerada en 3 ó 4 años. Esta fórmula permite pagar en un plazo más corto de tiempo la amortización del crédito contraído y diferir con ello el pago principal del mismo.

A continuación se presenta un esquema del modelo de financiación del buque proyecto, en el que se especifican cada una de las partidas :

PARTIDAS	Porcentaje	Coste
Desembolso Inicial del armador (Fondos propios)	20 %	18.079.608 €
Créditos (fondos ajenos)	80 %	72.318.433 €
TOTAL		90.398.041 €

Las garantías del crédito podrían desglosarse de la siguiente forma:

GARANTÍAS	Porcentaje	Coste
Hipoteca naval	55 %	49.718.923 €
Contrato de transporte	15 %	13.559.706 €
Aval estatal	10 %	9.039.804 €
TOTAL		72.318.433 €

Los tipos de créditos que se podrían conseguir para esta financiación son:

Crédito subsidiario (Real Decreto 442/94)

Las condiciones de un crédito subsidiario son:

Armadores	Nacionales y comunitarios
Crédito máximo	80 %
Interés mínimo	8 %
Plazo máximo	12 o 14 años
Años de carencia	Hasta 2 años



El interés es independiente de la moneda en que se denomine el crédito y el Estado abona al banco financiador hasta tres puntos de subvención.

Crédito con garantía estatal

Las condiciones de un crédito en términos OCDE son:

Armadores	Exportación y nacionales
Crédito máximo	80 %
Interés mínimo	CIRR de la moneda
Plazo máximo	8,5 años
Años de carencia	Ninguna

CIRR (Commercial Interest Reference Ratio) es el tipo de interés de la Deuda Pública en dicha moneda que oficialmente se publica por la Comisión cada mes para cada divisa.

El mercado OCDE llegó a recoger el crédito de 12 años permitiendo garantías complementarias con apoyo oficial en términos “pure cover” donde el armador debe abonar íntegramente el coste comercial de las garantías. Pero el veto por CESCE (Compañía Española de Seguro de Crédito a la Exportación) de emitir garantías para los créditos comprendidos en el Real Decreto, ha limitado la cobertura del riesgo a un plazo de amortización de 8,5 años el cual resulta obsoleto, como así lo reconoce la Comunidad Internacional.

Por último, durante la construcción del buque se establecen, contractualmente, una serie de hitos en referencia a los cuales al Armador va realizando los sucesivos pagos parciales. El período de construcción del buque proyecto se estima en 18 meses, a lo largo de los cuales se distribuyen los cinco pagos e hitos que se indican a continuación.

HITO	MES	PORCENTAJE	IMPORTE
Entrada en vigor	1	20 %	18.079.608 €
Comienzo elaboración	5	20 %	18.079.608 €
Puesta de quilla	9	20 %	18.079.608 €
Botadura	14	20 %	18.079.608 €
Entrega del buque	18	20 %	18.079.608 €



13 COSTES DE EXPLOTACIÓN

La estructura del coste de explotación de un buque es muy variable, por lo que es muy difícil señalar unos porcentajes concretos del coste de cada una de las partidas que lo constituyen.

En esta estructura influyen las características del buque y las condiciones de su explotación. Por otra parte, los costes están variando constantemente y las cifras que pudieran darse hoy dejarían de tener valor, probablemente, dentro de un año. Por ello se darán porcentajes de participación de cada una de las distintas partidas que integran el coste de explotación, de forma que se pueda apreciar la importancia relativa de cada una de ellas.

Para ello en primer lugar se distingue entre costes fijos y costes directos

Costes fijos

Se dividen en costes financieros, primas de seguro, mantenimiento, coste relativo de la tripulación y amortización:

- Los costes financieros dependen de la forma de financiación utilizada para la construcción del buque. Los costes financieros anuales medios son del orden del 4 o del 5% del valor inicial del buque.
- Las primas de seguro, incluyendo el seguro marítimo habitual más el de guerra y huelgas, así como la participación en un club de protección e indemnización pueden tener un coste del 2% aproximadamente del valor inicial del buque.
- El mantenimiento, incluyendo las reparaciones, inspecciones y pertrechos puede estimarse del orden del 3% del valor del buque.
- El coste relativo de la tripulación es aproximadamente del 0,5% del valor del buque.
- La amortización dependerá del criterio que siga la compañía naviera, pero por norma general, estará entre el 5 y el 10% del valor del buque.

Costes directos

Se pueden dividir en costes de puerto y consumos:

- Los costes de puerto dependen del puerto en que haga escala el buque y la duración de la misma. Los petroleros normalmente realizan navegaciones muy largas, permaneciendo en puerto períodos muy cortos durante muy pocas escalas anuales, y usando a veces fondeaderos cuyo coste es relativamente bajo. Son costes de puerto aquellos derivados de la utilización del puerto, como son los derechos de atraque, faros, boyas, etc., y los servicios que de él recibe: practica, remolque, etc.
- Los consumos, especialmente el de combustible, tienen una gran influencia en el coste total de explotación. El resto, (agua dulce, lubricantes, víveres, etc.) representan cifras muy bajas en comparación con el resto de partidas.



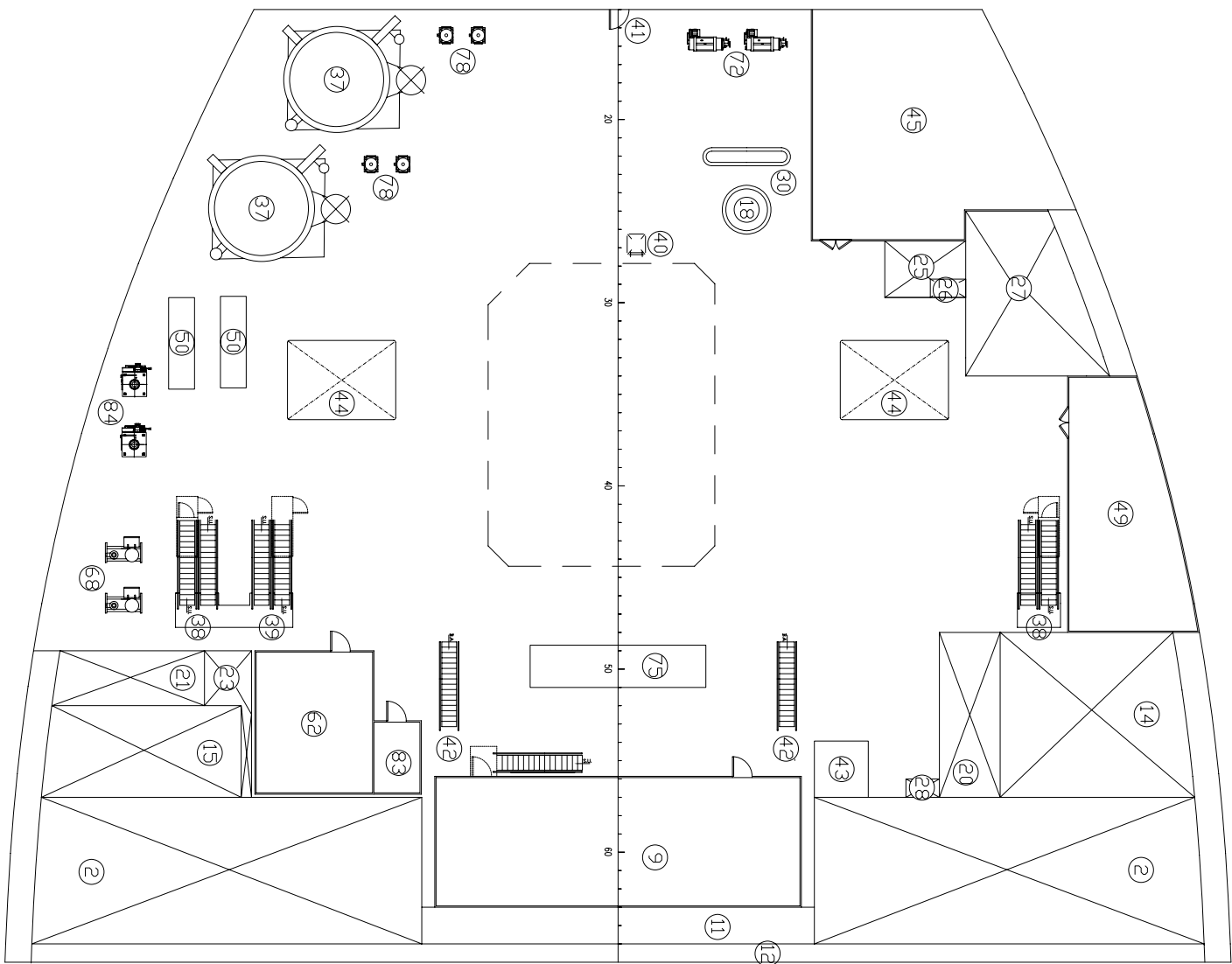
14 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Durante el desarrollo de todo el proyecto se ha hecho uso de una serie de referencias bibliográficas, las cuales se enumeran a continuación:

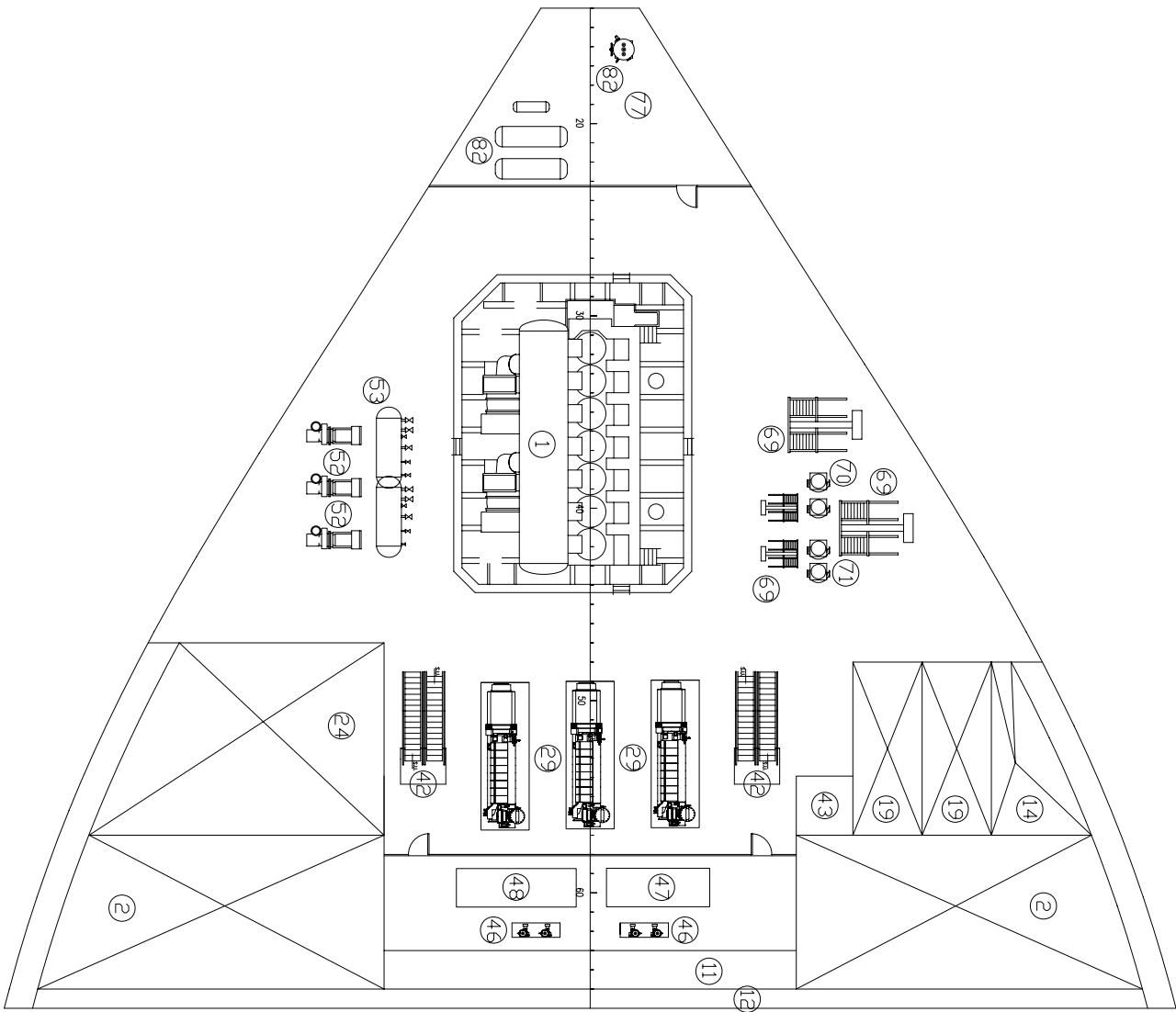
- [1] Ricardo Alvariño Castro, Juan José Azpíroz y Manuel Meizoso..; *“El proyecto básico del buque mercante”*, Ed. Fondo Editorial de Ingeniería Naval; Pub. 2007.
- [2] Lamb, Thomas (Written by an international group of authorities); *“Ship design and construction”*, Ed. Society of Naval Architects and Marine Engineers; Pub 2004.
- [3] Holtrop, J. y Mennen G.G.J.; *“An approximate power prediction method”*, International Shipbuilding Progress; Pub 1982.
- [4] Antonio Vaquero; *“Teoría del buque. Lecciones de resistencia al avance”*, Departamento de Artes Gráficas E.T.S.I.N.; Edición 2002.
- [5] Antonio Vaquero; *“Teoría del buque. Introducción a la propulsión de buques”*, Departamento de Artes Gráficas E.T.S.I.N.; Edición 2005.
- [6] Capitán I.G. Reigadas; *“El buque tanque”*, Ediciones EDG; Pub 2004.
- [7] David G. M. Watson; *“Practical Ship Design”*, ELSEVIER OCEAN ENG. BOOK SERIES; Pub 1998.
- [8] Guillermo Ricardo Gadea; *“Los buques tanque y su clasificación”*, PETROTECNIA; Abril 2004.
- [9] M.A. Meizoso, J.L. Garcés; *“Apuntes de proyectos”*, Departamento de Artes Gráficas E.T.S.I.N.
- [10] G. Pérez; *“Teoría del buque (Máquinas) Tomo II-B”*, Departamento de Artes Gráficas E.T.S.I.N.
- [11] Antonio Baquero; *“Análisis de comportamiento del buque bajo la acción del timón. Aspectos hidrodinámicos y de proyecto”*, Tesis Doctoral; Canal de experiencias hidrodinámicas, el Pardo; Publicación núm. 66. Madrid, Noviembre de 1981.
- [12] Álvaro Zurita y Sáez de Navarrete; *“Introducción al diseño de cámara de máquinas”*, Sección de Publicaciones E.T.S.I.N.
- [13] K. Van Dokkum; *“Ship knowledge, a modern encyclopedia”*, Editorial Dokmar; Pub 2003.
- [14] Luis Ramón Núñez Rivas; Apuntes de clase de la asignatura “Instalaciones de vapor”, Año 2006.



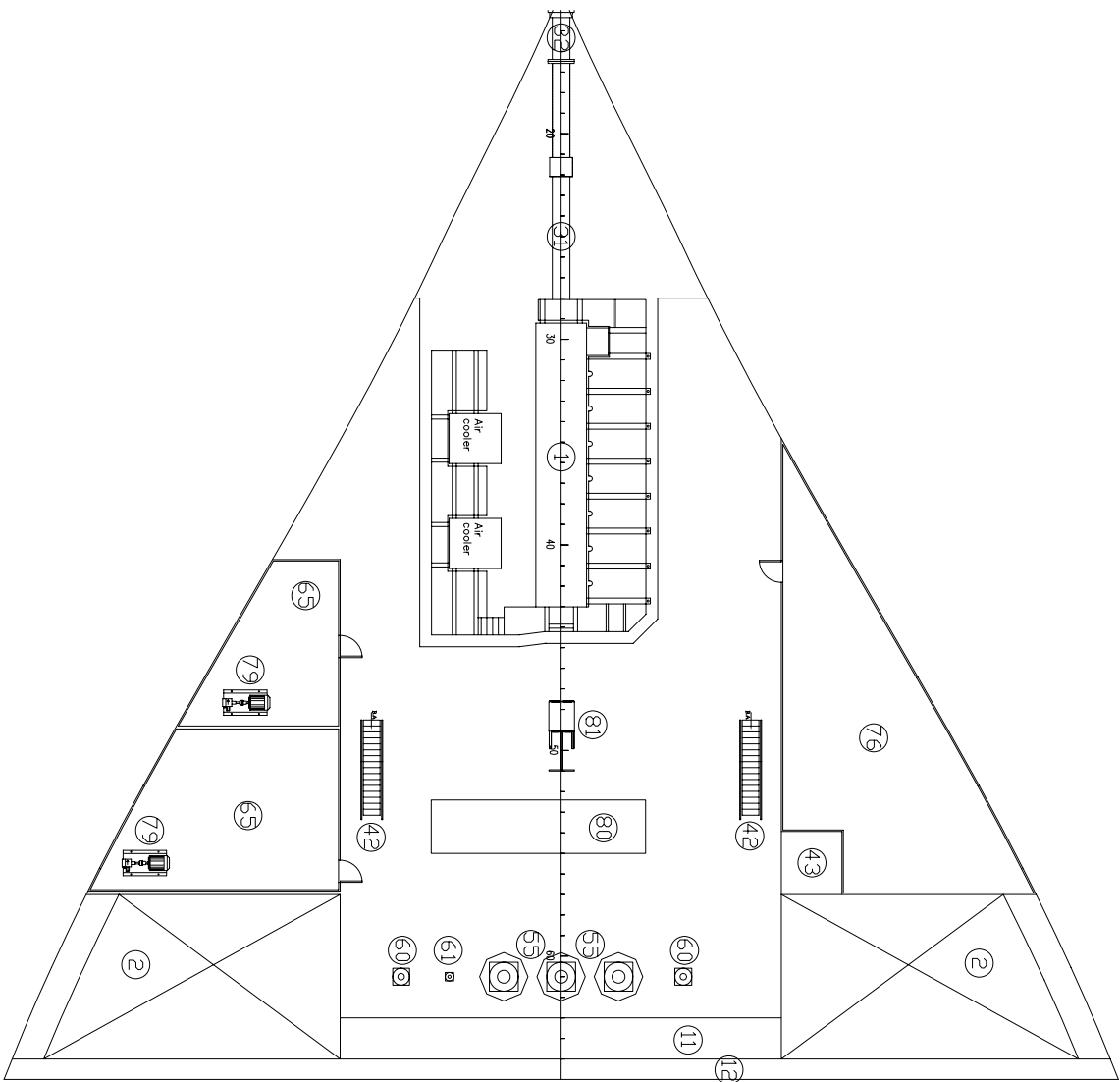
- [15] Alfonso López de Asiaín Zabia; Apuntes de clase de la asignatura “Equipo y servicios”, Año 2004.
- [16] Amable López Piñeiro; *“Electricidad aplicada al buque – Diseño general de la planta eléctrica”*, Departamento de Artes Gráficas E.T.S.I.N; Pub 1999.
- [17] Amable López Piñeiro; *“Distribución eléctrica a bordo”*, Departamento de Artes Gráficas E.T.S.I.N; Pub 1999.
- [18] Manuel Meizoso Fernández y José Luis García Garcés. *“Desplazamiento. Cálculo iterativo del peso en rosca y el peso muerto”*, Departamento de publicaciones de la ETSIN; Pub Junio 2000.
- [19] Manuales de FORAN60.
- [20] *“Common Structural Rules for Double Hull Oil Tankers (CSR)”* publicadas por IACS y en vigor desde el 1 de Abril de 2006.
- [21] Lloyds Register of Shipping; *“Rules and Regulations for the Classification of Ships”*; Edición de 2007.
- [22] Convenio SOLAS, Edición consolidada 2004.
- [23] Convenio MARPOL 73/78/90 y enmiendas.
- [24] Convenio Internacional sobre Líneas de Carga de 66/88 (Edición revisada 2005).
- [25] Convenio Internacional de 23 de Junio de 1969, sobre Arqueo de Buques hecho en Londres. En vigor desde 18 de Julio de 1982.
- [26] Lloyd’s Register of Shipping; *Lloyd’s Register Information*; <http://www.lr.org>.
- [27] Base de datos de buques de Lloyd’s Register of Shipping; <http://www.sea-web.com>.
- [28] Jaime Torroja Méndez. *“Apuntes de proyectos. Volumen 1”*; Departamento de publicaciones de la ETSIN; Pub 1987.
- [29] *“Standards for Oil Tanker Manifolds and Associated Equipment”*, Oil Companies International Marine Forum (OCIMF). 3rd Edition 1981.
- [30] *“Recommendations for Equipment Employed in the Mooring or Ships at Single Point Moorings”*, Oil Companies International Marine Forum (OCIMF). 2nd Edition, 1988.
- [31] *“Shipping and shipbuilding markets. Annual Review 2009”*; Barry Rogliano Salles. Pub 2009.



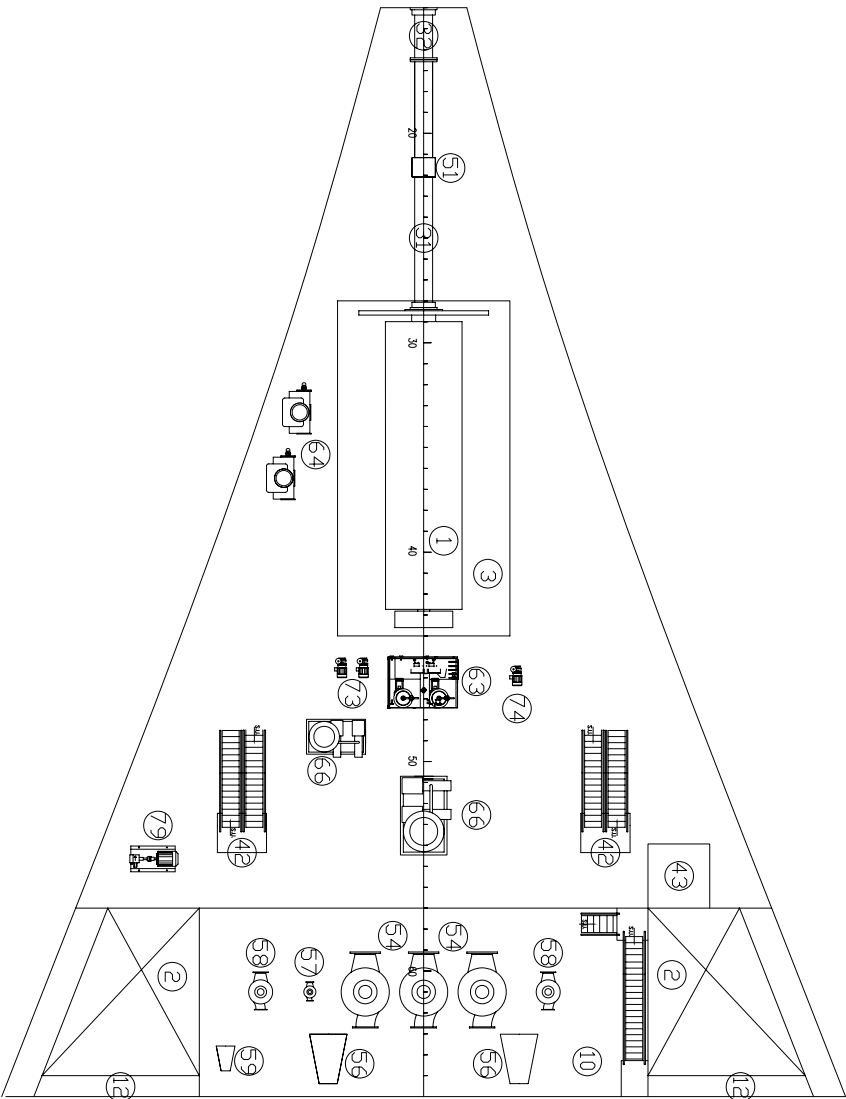
TERCERA PLATAFORMA (17,37 m)



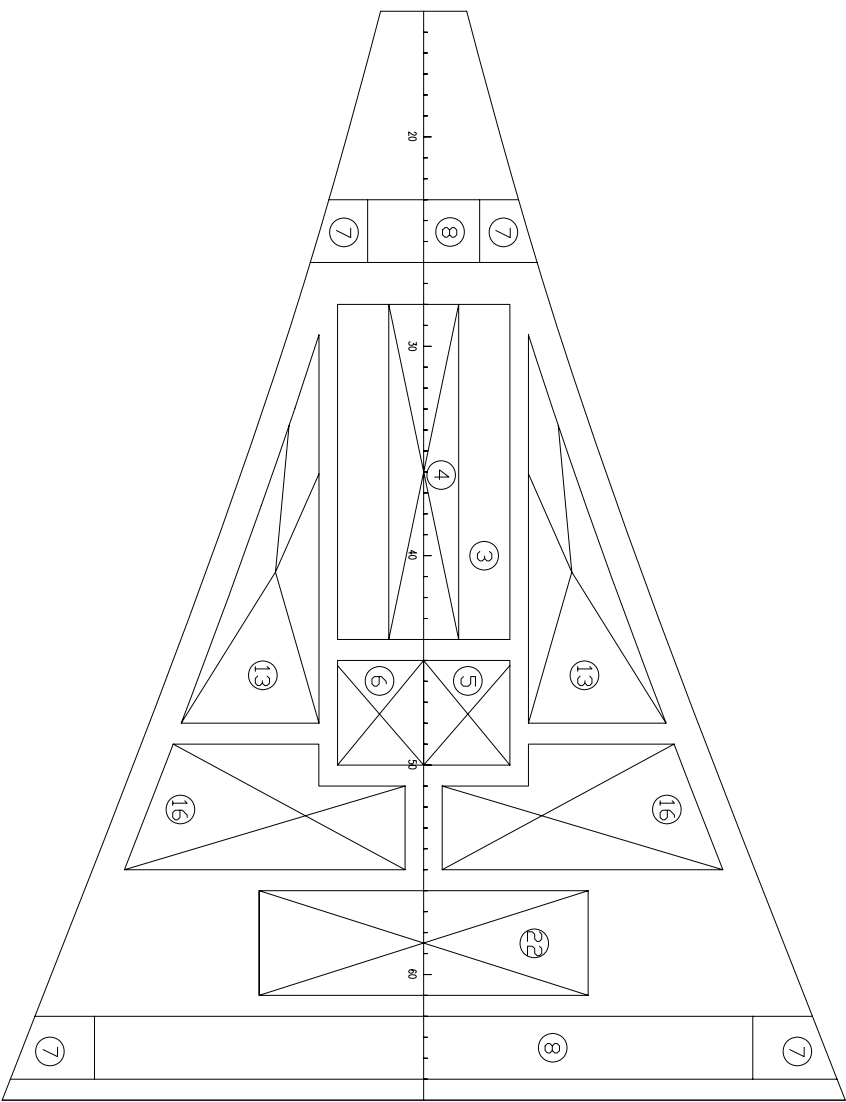
SEGUNDA PLATAFORMA (11,30 m)



PRIMERA PLATAFORMA (7,80 m)



SUELO CÁMARA DE MÁQUINAS (2,60 m)



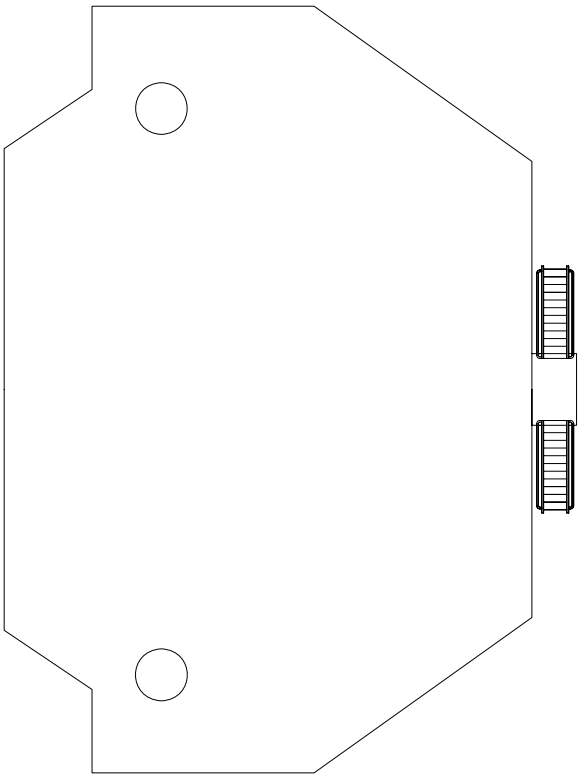
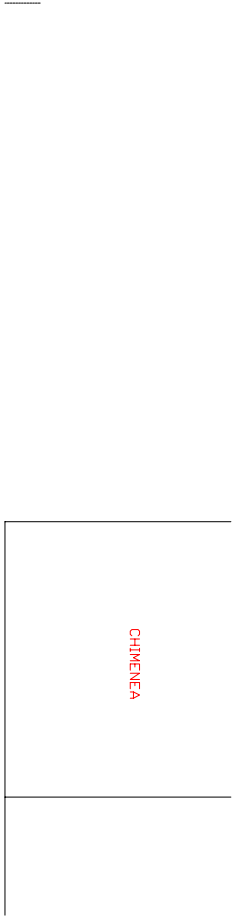
TECHO DOBLE FONDO (2,60 m)

ITEM	ELEMENTO
1	MOTOR PROPULSOR
2	TANQUES ALMACENAMIENTO HFO (4,5 % CONT EN AZULFRE)
3	BANCA DA MOTOR PROPULSOR
4	TANQUE DE SERVICIO SIST. LUBRICACIÓN DEL CARTER M.P.
5	TANQUE DE LODOS
6	TANQUE DE SENTINAS
7	TOMAS DE MAR
8	COLECTOR TOMAS DE MAR
9	SALA DE CONTROL
10	SALA DE BOMBAS
11	ESCALERA DE ACCESO DESDE CUBIERTA PRINCIPAL A CÁMARA DE BOMBAS
12	ESCALERA DE ACCESO DESDE CUBIERTA PRINCIPAL A CÁMARA DE BOMBAS
13	TANQUES AUXILIARES SIST. LUBRICACIÓN CARTER M.P.
14	TANQUE ALMACENAMIENTO HFO (1,5% CONT. EN AZULFRE)
15	TANQUE ALMACENAMIENTO HFO (0,1% CONT. EN AZULFRE)
16	TANQUE DE AGUAS NEGRAS
17	TANQUE DE AGUAS GRISAS
18	CONDUCTO EXHAUSTIÓN MOTOR PRINCIPAL
19	TANQUES SERVICIO DIARIO HFO M.P. Y AUXILIARES
20	TANQUE SEDIMENTACIÓN HFO
21	TANQUE DE SERVICIO DIARIO HFO CALDERAS
22	TANQUE DE REBOSOS Y DERRAMES
23	TANQUE SERVICIO DIARIO MDO
24	TANQUE ALMACEN. MDO
25	TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE ACEITE DE CAMISAS
26	TANQUE DE SERVICIO DE ACEITE DE CAMISAS
27	TANQUE ALMACENAMIENTO DE AGUAS GRISAS
28	TANQUE ALMACENAMIENTO DE AGUAS GRISAS
29	TANQUE ALMACENAMIENTO DE AGUAS GRISAS
30	CONDUCTOS EXHAUSTIÓN MOTORES AUXILIARES
31	EJE DE TRANSMISIÓN INTERMEDIO
32	EJE DE COLA
33	CALDEREIA DE GASES DE ESCAPE
34	SILENCIADOR
35	EQUIPO APAGACHISPAS
36	LOCAL ELÉCTRICO
37	CALDERAS PRINCIPALES
38	ESCALERAS DE ACCESO DESDE LA CUBIERTA PRINCIPAL
39	ESCALERA DE ACCESO DESDE EL TALLER DE CUBIERTA
40	ACCESO DESDE LA SUPERESTRUCTURA DEL GUARDACALOR Y CHIMENEA
41	PUERTA DE ACCESO AL LOCAL DEL SERVO
42	ESCALERAS DE COMUNICACIÓN ENTRE PLATAFORMAS
43	ESCALERAS
44	ESCALERAS
45	TALLER DE CÁMARA DE MÁQUINAS
46	PURIFICADORAS HFO
47	MÓDULO ALIMENTACIÓN MOTORES AUXILIARES
48	MÓDULO ALIMENTACIÓN MOTOR PRINCIPAL
49	TALLER ELÉCTRICO
50	MÓDULOS ALIMENTACIÓN DE CALDERAS
51	CHUMACERA DE APOYO
52	COMPRESORES DE AIRE
53	BOTELLAS DE AIRE COMPRIMIDO
54	TURBOBOMBAS DE CARGA
55	TURBINAS DE LAS BOMBAS DE CARGA
56	EJECTORES DE CARGA
57	BOMBA DE AGOTAMIENTO TANQUES DE CARGA
58	BOMBA DE LASTRE
59	BOMBA DE LASTRE
60	ACCIONADORES BOMBAS DE LASTRE
61	ACCIONADOR BOMBA DE AGOTAMIENTO DE LOS TANQUES DE CARGA
62	PANOL ELÉCTRICO
63	PURIFICADORA ACEITE DE CARTER DEL MOTOR PRINCIPAL
64	GENERADORES DE AGUA DULCE
65	LOCAL CONTRAINCENDIOS
66	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
67	SEPARADOR DE SENTINAS
68	CALENTADORES DE AGUA DE HABILITACIÓN
69	INTERCAMBIADORES DE CALOR DE SIST. DE REFRIGERACIÓN CENTRAL
70	BOMBAS DE AGUA SALADA DEL SIST. DE REFRIGERACIÓN CENTRAL
71	BOMBAS DE AGUA DULCE DEL SIST. DE REFRIGERACIÓN CENTRAL
72	SISTEMA DE POTABILIZACIÓN DE AGUA DULCE
73	BOMBAS DE SENTINAS
74	BOMBAS DE LUBRICACIÓN DE LOS MOTORES AUXILIARES
75	MÓDULO DE LUBRICACIÓN DE LOS MOTORES AUXILIARES
76	PANOL DE MAQUINARIA
77	LOCAL EQUIPOS AUXILIARES DE LA PLANTA DE VAPOR
78	BOMBAS DE ALIMENTACIÓN DE AGUA DE CALDERAS
79	BOMBAS SISTEMA CONTRAINCENDIOS DE AGUA SALADA
80	MÓDULO DE LUBRICACIÓN DEL MOTOR PRINCIPAL
81	ENFRADOR DE ACEITE
82	CONDENSADORES DE VAPOR
83	ASEOS
84	ESTACIONES DE POTENCIA SIST. HIDRÁULICOS DE CUBIERTA
85	MOTOR PROPULSOR

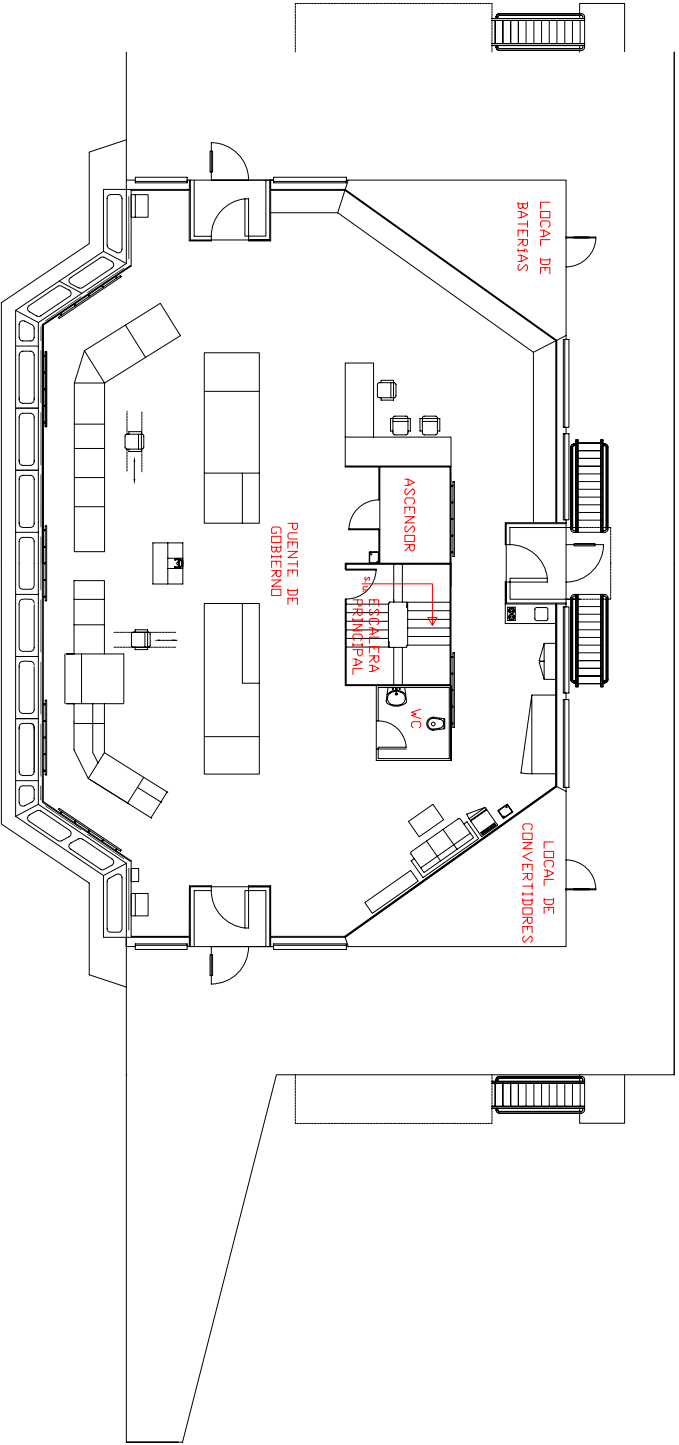
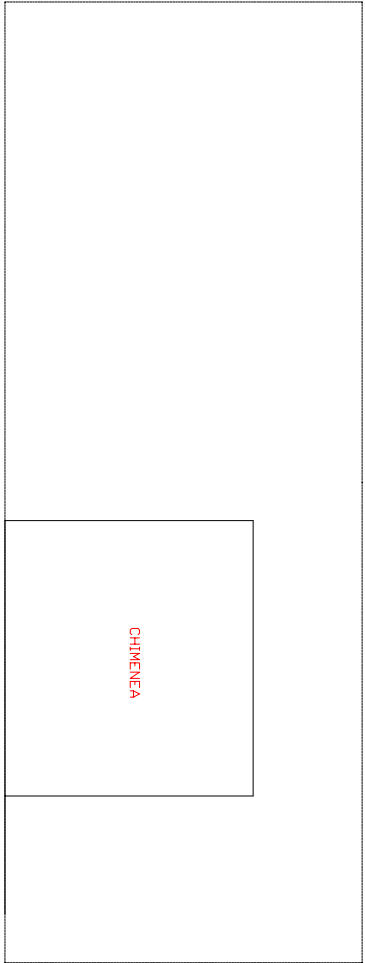
CAMARA DE MÁQUINAS

PROYECTO 1731	ESCALA
PETROLERO DE CRUDO DE 150.000 TPM	1:250

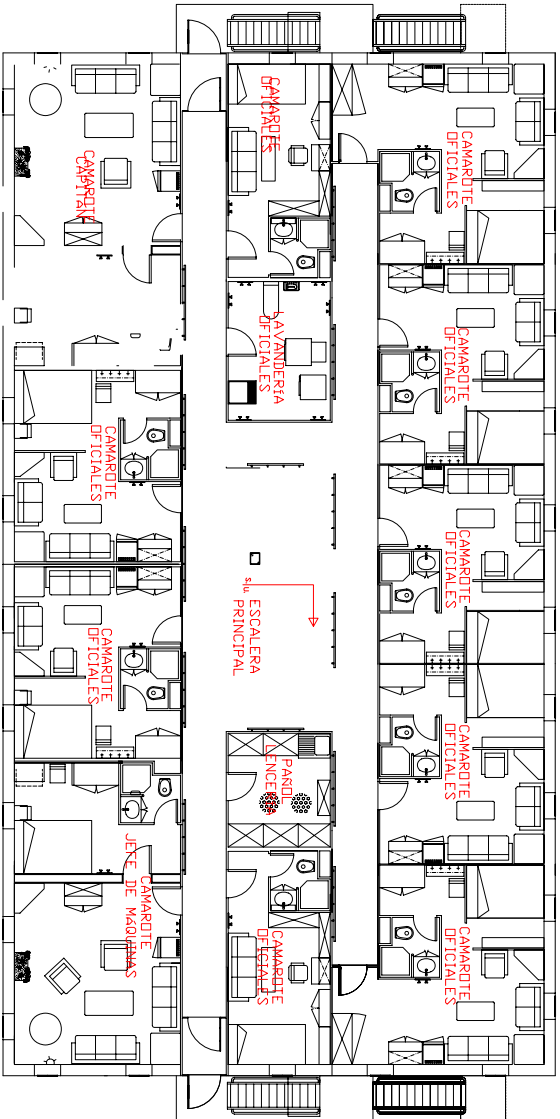
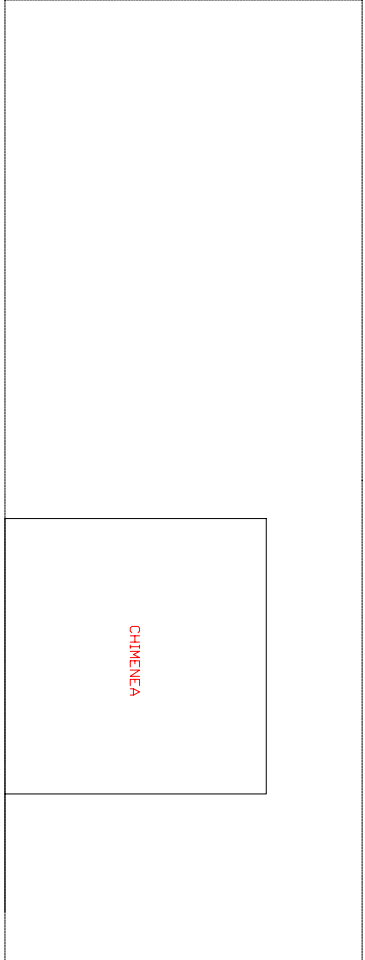
JOSE ANTONIO DURANGO RAMÓN



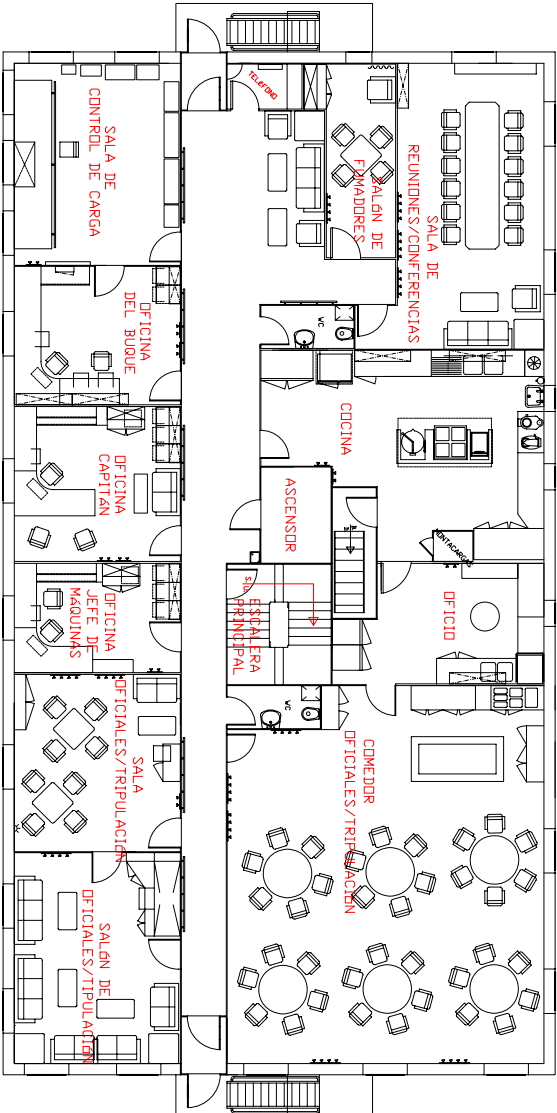
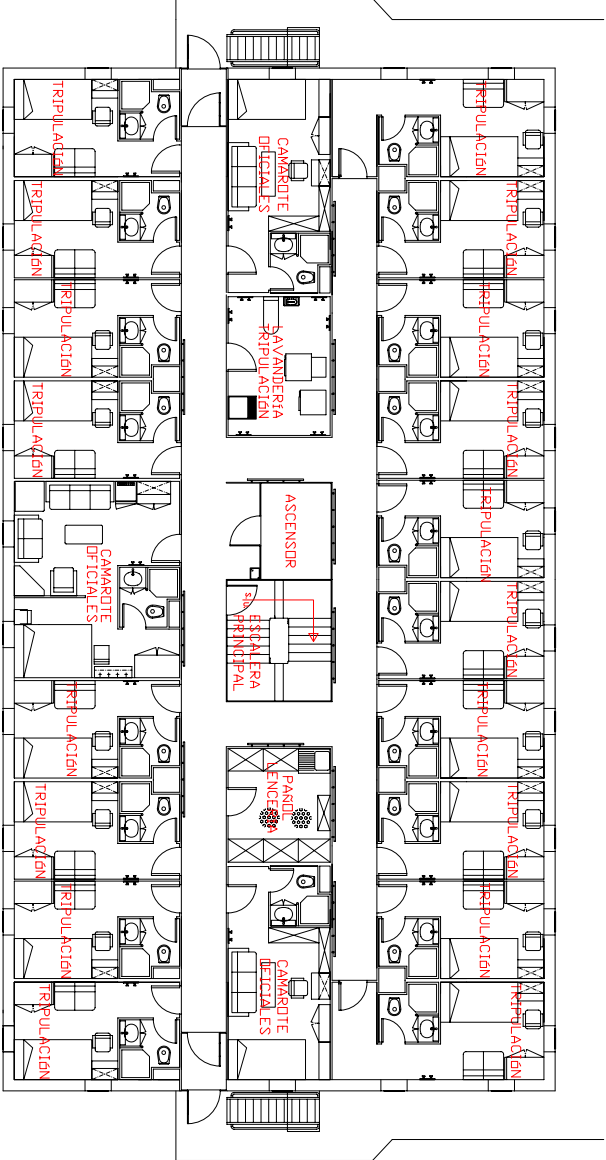
SOBREPUEENTE (37,90 m de altura)



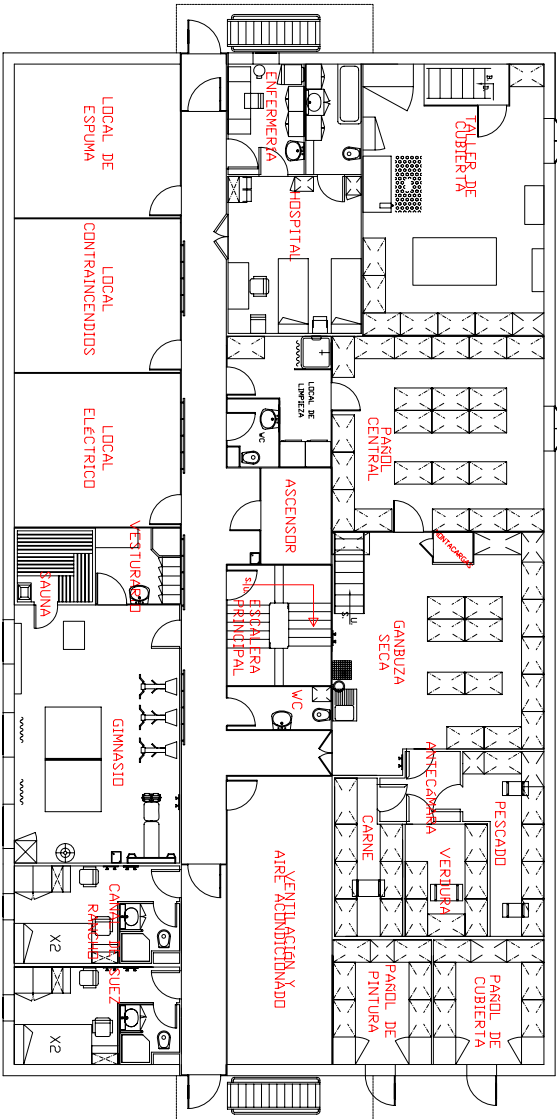
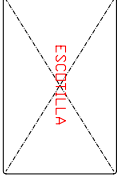
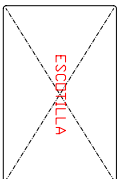
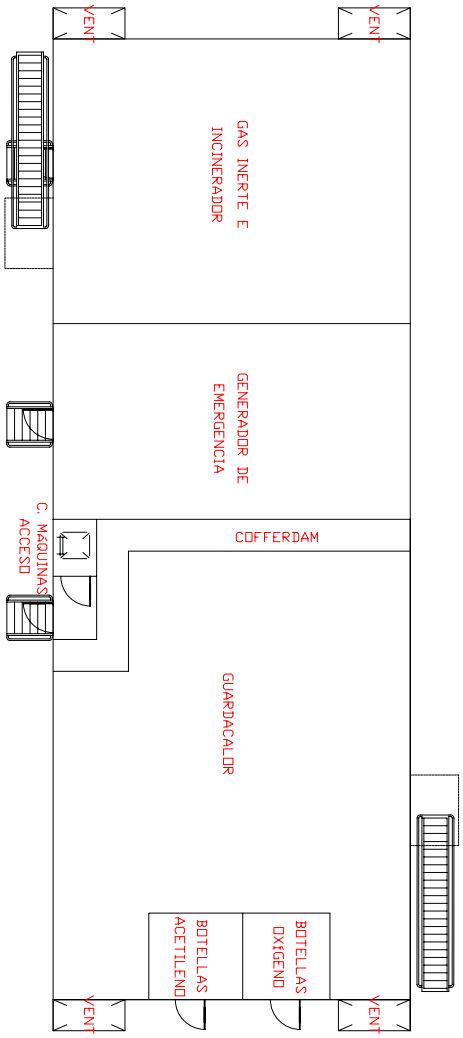
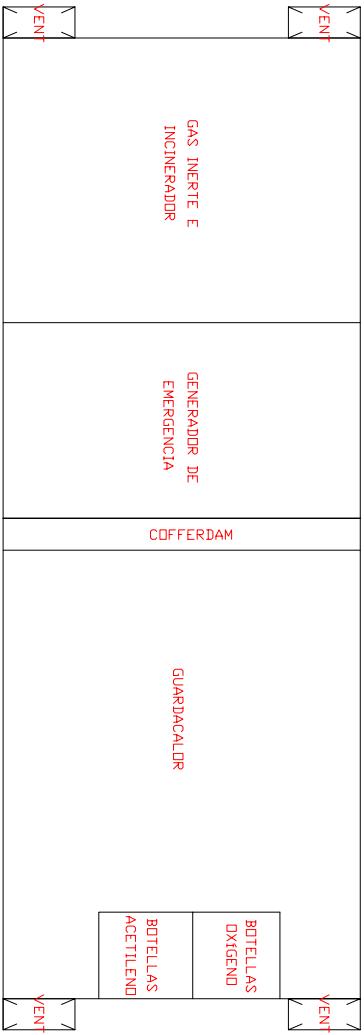
CUBIERTA DE PUENTE (35,10 m de altura)



CUBIERTA "C" (32,40 m de altura)

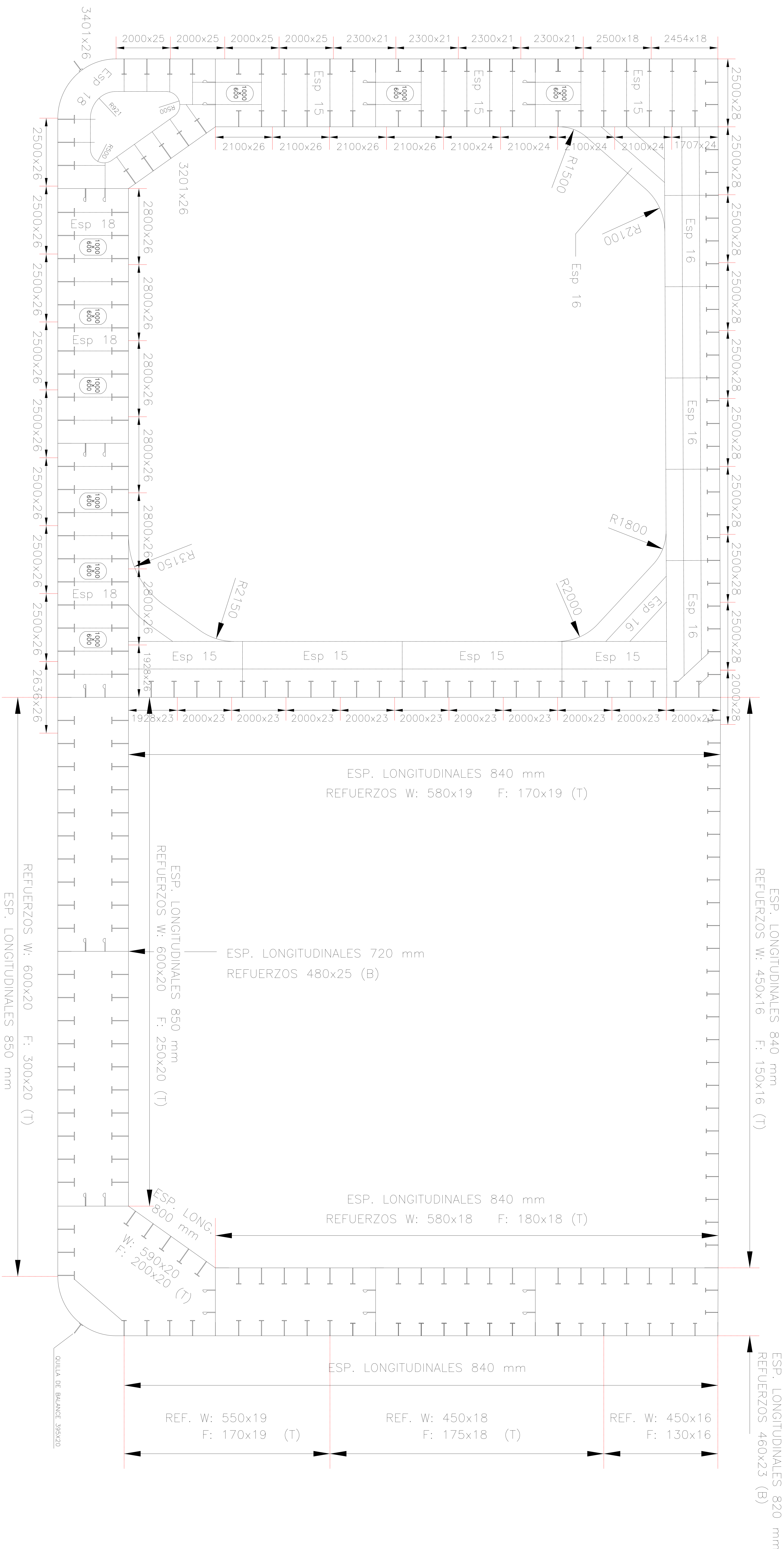


CUBIERTA "A" (27,00 m de altura)



CUBIERTA SUPERIOR (24,40 m de altura)

DISPOSICIÓN SUPERESTRUCTURAS	
PROYECTO 1731	ESCALA
PETROLERO DE CRUDO DE 150.000 TPM	1:200
JOSE ANTONIO DURANGO RAMÓN	



ESLORA ENTRE PENDICULARES	260,000 m.
ESLORA TOTAL	272,202 m.
MANGA DE TRAZADO	47,000 m.
PUNIAL DE TRAZADO	24,400 m.
CALADO DE PROYECTO	16,800 m.
COEFICIENTE DE BLOQUE	0,830
ALTURA DEL DOBLE FONDO	2,600 m.
ANCHURA DOBLE CASCO	2,500 m
ANCHURA DE LA CUBIERTA PRINCIPAL	0,100 m

LLOYD'S REGISTER OF SHIPPING	
+100A.1 DOUBLE HULL OIL TANKER, CSR, IWS, LI, LMC,	
CSOM, UNMS	
MÓDULO DE LA CUADERNA MAESTRA	
CUBIERTA	58.90 m3
FONDO	83.22 m3
ESPACIADO DE TRANSVERSALES	
CUADERNAS PIQUES	700 mm
CUADERNAS C. DE MAQUINAS	700 mm
SEP. BULAROMAS ZONA DE CARGA	4120 mm

Tipo de acero: A (salvo donde se indique lo contrario)	
Numeral de equipo: 5685	
Arclasi:	
Tipo: HALL, sin cepo	
Peso unitario: 16900 kg	
Cadenas:	
Tipo: con concreto	
Diámetro: 114 mm	
Cantidad de acero: U2	
Lineas de amarre:	
Numero: 18	
Longitud de cada linea: 200	
Tension de rotura: 716 kN	

ESLORA DE ESCANTILLON	256.028 m.
MANGA	47.000 m.
PUNTA 24.400 m.	
CALADO DE ESCANTILLON	17.800 m.
COEFICIENTE DE BLOQUE DE ESCANTILLON	0.836

ARRUFO	4.449,588	KN	m.
QUEBRANTO	- 4.449,588	KN	m.

ARRUFO	170,8
QUEBRANTO	- 170,8

ESFUERZOS CORTANTES MÁXIMOS EN AGUAS TRANQUILAS

ARRUFO	170.858 kN m.
QUEBRANTO	- 170.858 kN m.

CUADERNA MAESTRA	
PROYECTO 1731	ESCALA
PETROLEO PARA CRUDO 150.000 TPM	1:50

PROYECTO 1731	ESCALA
PETROLERO PARA CRUDO 150.000 TPM	1:50

JOSE ANTONIO DURANGO RAMÓN